

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**HAJAUTETUN JÄÄKÄRIPATALJOONAN PUOLUSTUSTAISTELUN
KUORMITTAVUUS JÄÄKÄRITAISTELIJALLE**

Pro gradu

Yliluutnantti
Ville Isola

Maisterikurssi 6
Maasotalinja

Huhtikuu 2017

Kurssi Sotatieteiden maisterikurssi 6	Linja Maasotalinja
Tekijä Yliluutnantti Ville Isola	
Tutkielman nimi HAJAUTETUN JÄÄKÄRIPATALJOONAN PUOLUSTUSTAISTELUN KUORMITTAVUUS JÄÄKÄRITAISTELIJALLE	
Oppiaine, johon työ liittyy Sotilaspedagogiikka / Fyysinen kasvatus	Säilytyspaikka Maanpuolustuskorkeakouluun kirjasto
Aika Huhtikuu 2017	Tekstisivuja 50 Liitesivuja 0
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>Uudistunut taistelutapa edellyttää joukkojen uudenlaista käyttöä, jossa korostuu sotilaan hyvä fyysinen toimintakyky. Fyysistä kuormittavuutta ei ole aikaisemmin tutkittu uudistuneessa taistelutavassa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia hajautetun pataljoonan jääkäritaistelijan autonomisen hermoston vasteita ja hormonitasapainoa puolustustaistelussa.</p> <p>Tutkimus oli osa Puolustusvoimien Tutkimuslaitoksen suorittamaa Maavoimien toimintakykytutkimusta. Tutkimuksen suoritti 21 Karjalan prikaatin 1/14 ja 2 /14 saapumiserien vapaaehtoista varusmiestä. Ensimmäinen mittaus suoritettiin kasarmikoulutusjaksolla. Toinen mittaus suoritettiin puolustusharjoituksen päättymispäivänä ja kolmas mittaus suoritettiin 3–5 päivää sen jälkeen. Tutkittavilta tarkasteltiin sykevälivaihtelumittarilla autonomisen hermoston vasteita matala- ja korkeataajuisen sykevälivaihtelun muuttujilla, korkea- ja matalataajuisen sykevälivaihtelun suhteella sekä parasympaattisen hermoston aktiivisuutta sydämen peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua kuvaavalla muuttujalla. Veren seerumista analysoitiin testosteroni-, insuliinin kaltaisen hormonin kasvutekijä-1:sen, sukupuolihormoneja sitovan globuliinin ja kortisolipitoisuudet. Tutkittavien kehon koostumusta tarkasteltiin bioimpedanssilla. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin kaksisuuntaista varianssianalyysia (ANOVA) ja kahden ajankohdan vertailut toteutettiin Holm-Bonferronikorjatuilla t-testeillä.</p> <p>Kehonpaino väheni erittäin merkitsevästi 74,0 (±8,5) kg:sta 71,5 (±8,5) kg:aan ($p<0,001$) puolustusharjoituksen aikana. RMSSD laski harjoituksen aikana merkitsevästi ($p<0,01$). Testosteronipitoisuus laski alkumittauksista 17,0 (±4,5) nmol/l:sta 8,5 (±4,0) nmol/l:aan ($p<0,001$), ja palautui palautusmittauksiin 19,0 (± 4,5) nmol/l ($p<0,001$). IGF-1-pitoisuus laski 38,0 (± 11,5) nmol/l:sta 21,0 (±8,5) nmol/l:aan ($p<0,001$), ja nousi erittäin merkitsevästi 26,0 (±6,5) nmol/l:aan ($p<0,001$). IGF-1-pitoisuus ei kuitenkaan noussut takaisin lähtötasolle vaan jäi erittäin merkitsevästi alhaisemmaksi palautumisjakson mittauksissa ($p<0,001$). Testosteronin ja kortisolin suhde laski 31,0 (±54,0) % puolustusharjoituksen aikana, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,76$). Vastaavasti harjoituksen jälkeisen mittauksen ja palautumisjakson mittauksen välillä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ($p<0,001$). Testosteronin ja kortisolin suhteellinen muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p<0,05$) alku- ja välimittausten välisessä muutoksessa. Myös palautus- ja alkumittausten välisessä muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero ($p<0,01$).</p> <p>Tämä tutkimus osoitti, että hajautetun pataljoonan viiden päivän puolustustaistelu on jääkäritaistelijalle erittäin kuormittavaa, ja se voi aiheuttaa jopa ylirasitustilan. Lisäksi havaittiin, että kuormituksesta ei ehkä palauduta viikonloppuvapaan aikana. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että uudistetussa taistelutavassa koulutuksen suunnitteluun ja taistelijoiden kokonaiskuormituksen hallintaan tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota.</p>	
<p>AVAINSANAT</p> <p>Uudistettu taistelutapa, sykevälivaihtelu, autonominen hermosto, hormonitasapaino</p>	

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	1
2 HAJAUTETUN PATALJOONAN PUOLUSTUSTAISTELU	3
3 AUTONOMINEN HERMOSTO JA SYKEVÄLIVAIHTELU	4
3.1 Autonominen hermosto.....	4
3.2 Sykevälivaihtelu.....	5
3.2.1 Aikakenttäanalyysi.....	7
3.2.2 Taajuuskenttäanalyysi.....	8
3.3 Sykevälivaihtelun mittaaminen kuormituksessa.....	8
4 HORMONAALINEN SÄÄTELYJÄRJESTELMÄ.....	10
4.1 Testosteroni.....	11
4.2 Kortisoli	12
4.3 Insuliinin kaltainen kasvutekijä-1 (IGF-1).....	13
4.4 Sukupuoli hormoneja sitova globuliini (SHBG).....	14
5 SOTILASTEHTÄVIEN AIHEUTTAMAT VASTEET SYKEVÄLIVAIHTELUUN JA HORMONITASAPAINOON	15
5.1 Yksittäisen sotilaan kuormittuminen sotilastehtävissä	15
5.2 Sotilastehtävien aiheuttamat sykevälivaihtelun vasteet	18
5.3 Sotilastehtävien aiheuttamat hormonitasapainon vasteet.....	20
6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	24
7 TUTKIMUSAINEISTO JA –MENETELMÄT	26
7.1 Tutkittavat	26
7.2 Tutkimusasetelma	27
7.3 Verinäytteet.....	28
7.4 Kehon koostumus.....	28
7.5 Autonomisen hermoston tasapaino (sykevälivaihtelu)	28
7.6 Hermolihasjärjestelmän suorituskky.....	29
7.7 Tilastolliset menetelmät	29
8 TULOKSET	30
8.1 Kehon koostumus.....	30
8.2 Hormonipitoisuudet	31
8.3 Sykevälivaihtelumuuttujat	33
8.4 Energiankulutus	35
8.5 Suorituskky	36
9 POHDINTA	37
9.1 Kehon koostumuksen muutokset.....	37
9.2 Sykevälivaihtelun muutokset harjoituksen aikana.....	38
9.3 Hormonipitoisuuksien muutokset harjoituksen aikana	40
9.4 Sykevälivaihtelun ja hormonipitoisuuksien muutokset palautumisjaksolla	44
9.5 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	46
9.6 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset	49
10 LÄHTEET.....	51

HAJAUTETUN JÄÄKÄRIPATALJOONAN PUOLUSTUSTAISTELUN KUORMITTAVUUS JÄÄKÄRITAISTELIJALLE

1 JOHDANTO

Sotilaan toimintakyky jaetaan neljään osa-alueeseen: psyykkinen, sosiaalinen, eettinen ja fyysinen toimintakyky. Sotilaan fyysisellä toimintakyvyllä tarkoitetaan perusominaisuuksia kuten nopeus, voima, kestävyys ja taito. (Toiskallio 1998, 9; Isola 2013, 142.) Puolustusvoimien fyysisen koulutuksen päämääränä on kouluttaa riittävän toimintakyvyn omaavia sotilaita, joista koostuu suorituskyykyinen sodanajan joukko. Sodanajan joukkojen on kyettävä säilyttämään taistelukuntonsa vähintään kahden viikon jatkuvan taistelukosketuksen ajan sekä lisäksi kyettävä keskittämään kaikki voimavaransa 3–4 vuorokauden ratkaisutaisteluihin. Lihaskunnon on oltava riittävän hyvä, jotta sotilaat kykenevät säilyttämään toimintakykynsä vähintään 25 kilogramman taakan kanssa. Lisäksi sotilaiden on kyettävä hetkellisesti kantamaan 55–60 kg lisäkuormaa. (Pääesikunnan henkilöstöosasto 2007, 6–7.)

Uudistetussa taistelutavassa joukkojen käyttö- ja toimintaperiaatteet ovat aktiivisemmat kaikissa taistelulajeissa aikaisempaan verrattuna. Ainakin osittain kaavamaisesta ja jäykästä puolustustaktiikasta on luovuttu. Joukkojen vastuualueet ovat kasvaneet ja taisteluja käydään syvemmällä taistelutilassa eikä yksittäistä puolustuslinjaa välttämättä enää ole. (JPTSTOS-O -ALJO 2013, 1.) Taistelu laajoilla alueilla edellyttää joukkojen uudenlaista käyttöä. Toimivien joukkojen etäisyydet kasvavat perinteisestä kootun ryhmittymisen taistelusta ja joukot taistelevat uudistetussa taistelutavassa entistä itsenäisemmin. Joukkueen on kyettävä toimimaan ryhmitäin tai jakaantumaa tarvittaessa jopa kymmeneen kolmen taistelijan partioon. (Nisula 2013, 28.) Tämä tarkoittaa sotilaiden fyysisen aktiivisuuden ja kokonaiskuormituksen sekä energiankulutuksen lisääntymistä. Hyvä sotilaan fyysinen toimintakyky korostuu yhä enemmän uudistetussa taistelutavassa. Tieteellistä tutkimusta uudistuneen taistelutavan kuormittavuudesta ei ole vielä saatavilla (Vaara 2013, 54).

Fyysisellä aktiivisuudella on havaittu olevan vaikutusta sotilaiden elimistön hormonitasapainoon maastoharjoituksissa. Viiden päivän maastoharjoituksien on raportoitu alentavan voimakkaasti elimistön sukupuolihormonien pitoisuuksia ja lisäävän stressihormonipitoisuuksia. (Aakvaag ym. 1978; Opstad 1991; Gomez-Merino ym. 2004; Nindl ym. 2006; Alemany ym. 2008.) Sotilaiden elimistön hormonitasapainon muutoksia on myös raportoitu pitkäkestoisissa 4–8 viikon sotilaskoulutusjaksoissa (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2007; Fortes ym. 2011; Tanskanen ym. 2011) mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Huovinen ym. 2011).

Fyysinen kuormitus tai muu stressi aiheuttaa sympaattiselle hermostolle ärsykkeen ja sen aktiivisuus lisääntyy. Vastaavasti parasympaattisen hermoston aktiivisuus vähenee. Ärsyke ei välttämättä ole peräisin pelkästään fyysisestä kuormituksesta, vaan se voi myös johtua psyykkisestä kuormituksesta (Acharya ym. 2006). Sykevälivaihtelua on pidetty hyvänä autonomisen hermoston tilan (Hynynen ym. 2006), stressin ja harjoittelun mittarina (Saboul ym. 2014) sekä erityisesti hyvänä ylläpitotilan arviointimenetelmänä urheilijoilla (Hynynen ym. 2006). Sydämen sykevälivaihtelun mittaamisella voidaan tutkia urheilijoiden palautumista ja harjoituksen kuormittavuutta (Achten & Jeukendrup 2003). Sillä voidaan myös mitata luotettavasti sotilaan kuormittumista kenttäolosuhteissa. (Jounin ym. 2004; Salonen ym. 2013). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia hajautetun pataljoonan jääkäritaistelijan autonomisen hermoston vastetta ja hormonitasapainoa puolustustaistelussa.

2 HAJAUTETUN PATALJOONAN PUOLUSTUSTAISTELU

Uudistetussa taistelutavassa, Maavoimien taistelu 2015, joukkojen käyttö- ja toimintaperiaatteet ovat aikaisempaan verrattuna aktiivisemmat kaikissa taistelulajeissa. Ainakin osittain kaavamaisesta ja jäykästä puolustustaktiikasta on luovuttu. Joukkojen vastuualueet ovat kasvaneet ja taisteluja käydään yhä syvemmällä vihollisen alueella eikä välttämättä yksittäistä puolustuslinjaa enää ole. (JPTSTOS-O -ALJO 2013, 1.) Taistelu laajoilla alueilla edellyttää joukkojen uudenlaista käyttöä. Toimivien joukkojen etäisyydet kasvavat perinteisestä kootun ryhmytyksen taistelusta ja joukot taistelevat entistä itsenäisemmin. Joukkue kykenee tarvittaessa toimimaan ryhmittäin tai jakaantumaan jopa kymmeneen kolmen taistelijan partioon. (Nisula 2013, 28.) Puolustustaistelun tavoitteena on joko vihollisen hyökkäyksen pysäyttäminen ja estää sen pääsy omalle toiminnalle merkittävälle alueelle tai hyökkääjän liikkeen hidastaminen ja taistelujärjestyksen rikkominen (TSTOS-O – ALJO 2015, 27).

Hajautettu jääkäripataljoona on maavoimien joukkoyksikkö, jota käytetään vihollisen kuluttamiseen sotilasalueen tai jalkaväkiprikaatin johdossa. Sen suorituskyky perustuu neljän jalkaväkiryksikön hajautettuun toimintaan. Hajautettu pataljoona vaikuttaa viholliseen eri jalkaväen aseiden, panssaritorjunta-aseiden, sulutteiden ja epäsuoran tulen keskitetyllä käytöllä. (TSTOS-O – ALJO 2015, 20–21.)

Hajautettu jääkäripataljoona kykenee tuottamaan tappioita vihollisen kriittisiin suorituskykyihin. Se sitoo vähintään vihollisen pataljoonan voimat toiminnan estämiseksi sekä sivusta- ja selustauhan minimoimiseksi. Pataljoonan tulee kyetä siirtymään 50 kilometriä yhden vuorokauden aikana ja sen taktinen liikkuvuus perustuu pääasiassa jalan suoritettaviin siirtymisiin. Hajautetun jääkäripataljoonan vastuualueen koko on vähintään 20 x 30 kilometriä. Yksiköt taistelevat laajalla alueella käyttäen kaikkia taistelulajeja. Sen tehtäviä voivat olla tiedustelu ja aluevalvonta-, partio- ja panssaritiedustelu, harhauttaminen, tappioiden tuottaminen ja vihollisen hidastaminen sekä toimintaedellytysten luominen operatiivisten joukkojen käytölle prikaatin vastuualueella. (TSTOS-O – ALJO 2015, 21–22.)

3 AUTONOMINEN HERMOSTO JA SYKEVÄLIVAIHTELU

3.1 Autonominen hermosto

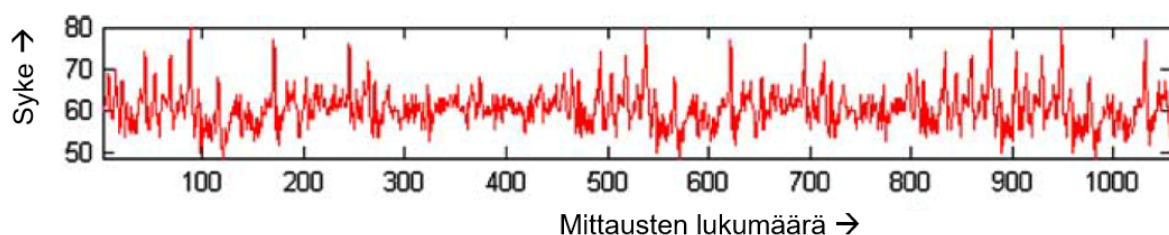
Autonomisen hermoston toiminta on pääsääntöisesti tahdosta riippumatonta (Aubert ym. 2003). Autonominen hermosto auttaa säätelemään elimistön toimintoja kuten verenpainetta, ruoansulatusta, hikoilua, kehon lämpötilaa ja monia muita mekanismeja. Autonominen hermosto kykenee muuttamaan elimistön toimintaa nopeasti, esimerkiksi sydämensyke voi tuplaantua 3–5 sekunnissa. Autonomista hermostoa säätelevät selkäydin, aivorunko ja hypotalamus. (Guyton & Hall 2006, 748.) Autonomisen hermoston tehtävänä on säädellä elimistön homeostaasia (Porges & Byrne 1992).

Autonominen hermosto jakautuu kahteen eri osaan: sympaattiseen ja parasympaattiseen hermostoon. Sympaattinen hermosto vastaa kehon ulkopuolelta tuleviin haasteisiin, kun taas parasympaattisen hermoston toiminta liitetään kasvuun ja kehitykseen liittyviin toimintoihin. Sympaattinen hermosto kiihdyttää ja parasympaattinen hermosto rauhoittaa elimistön toimintoja. (Porges & Byrne 1992.) Sympaattisen hermoston aktiivisuus yhdistetään usein ”fight or flight” –reaktioon, jolloin elimistö valmistautuu fyysiseen aktiivisuuteen. Parasympaattinen hermosto yhdistetään puolestaan ”rest and digest” –reaktioon, jolloin elimistö valmistautuu leppäämään. (McCorry 2007.) Nämä kuvaavat sympaattisen hermoston ja parasympaattisen hermoston kokonaisvaikutusta elimistössä.

Sympaattinen ja parasympaattinen hermosto ovat elimistössä aktiivisia samanaikaisesti. Niiden suhteellinen voimakkuus ratkaisee, kumman hermoston tuottamat vaikutukset ovat vallitsevat. Sympaattisen hermoston aktiivisuus kasvattaa sydämensykettä, kun taas parasympaattisen hermoston aktiivisuus laskee sydämensykettä. (Aubert ym. 2003; Nienstedt ym. 2004, 540.)

3.2 Sykevälivaihtelu

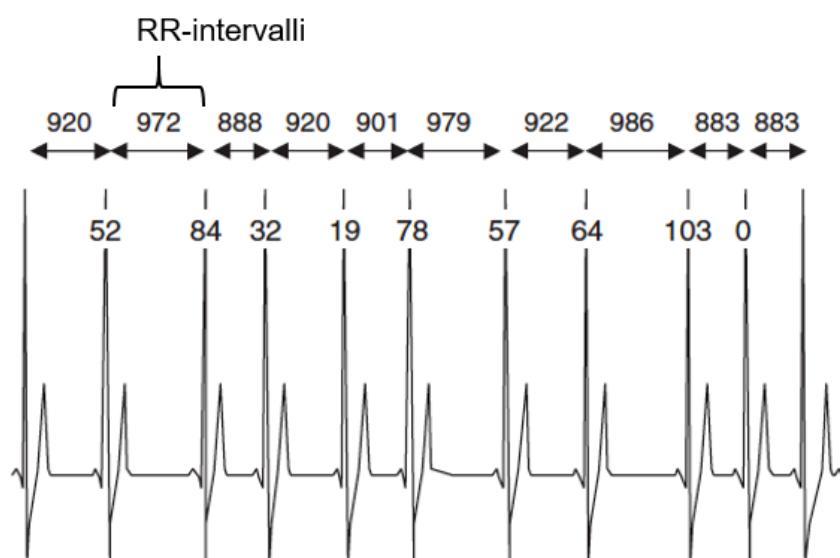
Sykevälivaihtelu on peräkkäisten sydämenlyöntien välisen ajan vaihtelua (Laitio ym. 2001). Autonominen hermosto säätelee sykevälivaihtelua (Winsley 2002). Terveellä ihmisellä sykevälit eivät ole pituudeltaan tasaiset. Tasaisella sykevälivaihtelulla on havaittu yhteys eri sydänsairauksiin. Sinusrytmi ohjaa sydämenlyöntitiheyttä. (Strauss 2003.) Sykevälivaihtelulla on tutkittu muun muassa sen yhteyttä työssä koettuun stressiin ja elämäntapoihin liittyviin riskitekijöihin (Thayer ym. 2010). Sydämen sykevälivaihtelulla voidaan tutkia urheilijoiden palautumista ja harjoituksen kuormittavuutta. Sillä voidaan myös mitata luotettavasti sotilaan kuormittumista kenttäolosuhteissa. (Jouanin ym. 2004; Salonen ym. 2013.) Sykevälivaihtelu heijastaa sydämen adaptoitumista yllättäviin ärsykkeisiin. Sykevälivaihtelusta voidaan arvioida sydän- ja verenkiertoelimistön terveyttä sekä autonomisen hermoston tilaa. Mitä enemmän sydämenlyönneissä on sykevälivaihtelua, sitä vähemmän autonominen hermosto on aktiivinen. Kuvassa 1 on esitetty terveen ihmisen sydämenlyöntiä, jossa ilmenee suurta vaihtelua. (Acharya ym. 2006).



KUVA 1. Terveen ihmisen sydämenlyönti (Mukailtu Acharya ym. 2006).

Sydämensyke ei ole koskaan täysin säännöllistä. Sydämen sykettä ohjaa sydämen sinussolmuke. Autonominen hermosto ei ole ainoa sydämensykkeeseen ja sykevälivaihteluun vaikuttava tekijä. Hengitys, lämmönsäätely, verenpaine, ikä, sukupuoli, kehon koostumus, baroreseptorit, kemoreseptorit ja reniini-angiotensiinijärjestelmä joko laskevat tai nostavat sydämensykettä (Dekker ym. 2000; Winsley 2002), ja näin ollen vaikuttavat sykevälivaihteluun.

Sykevälivaihtelua voidaan mitata usealla eri menetelmällä kuten sydänäänestä, sydämensykeestä tai sydämen elektrokardiogrammilla. EKG:tä on pidetty luotettavimpana mittarina. (Task Force 1996.) Sykevaihteluun vaikuttavat autonomisen hermoston sympaattinen ja parasympaattinen osa. Sympaattisen aktiivisuuden noustessa sydämensyke kiihtyy ja sykevälivaihtelu vähenee. Parasympaattisen aktiivisuuden kasvu puolestaan laskee sydämensykettä ja lisää sykevälivaihtelua. (Acharya ym. 2006.) Sen sijaan pienentynyt sykevälivaihtelu lepotilassa voi myös ilmentää parasympaattisen aktiivisuuden lisääntymistä (Jouanin ym. 2004). Sykevälillä tarkoitetaan kahden R-aallon välistä aikaa, RR-intervallia. Kuvassa 2 on esitetty 11:sta sydämenlyönnin R-aaltojen välisiä aikoja.



KUVA 2. Esimerkki EKG-signaalista, jossa on 11 sydämenlyöntiä (Mukailtu Achten & Jeukendrup 2003).

Suuri hajonta sykevälien ajallisessa pituudessa osoittaa sen, että sydän ja autonominen hermosto reagoivat elimistön nopeisiin muutoksiin (Task Force 1996). Suurella sykevälivaihtelulla on todettu olevan yhteys hyvään palautumiskykyyn urheilijoilla (Acharya ym. 2006). Kun taas alhainen leposyke yhdessä suuren sykevälivaihtelun kanssa on yhdistetty hyvään kestävyys-suorituskykyyn urheilijoilla (Nummela ym. 2016).

Sykevälivaihtelun analysoinnissa voidaan käyttää useita eri menetelmiä. Yleisimpiä käytettyjä menetelmiä ovat aikakenttäanalyysi- ja taajuuskenttäanalyysimenetelmä. Aikakenttäanalyysimenetelmässä sykevälivaihtelua tutkitaan ajan funktiona. Taajuuskenttäanalyysimenetelmässä tutkitaan sykevälivaihtelun sisältämiä taajuuksia sekä niiden muutoksia. (Task Force 1996.)

3.2.1 Aikakenttäanalyysi

Aikakenttäanalyysissä lasketaan RR-intervallijaksoista keskiarvo ja keskihajonta. RR-intervallien eroja mitattaessa lasketaan R-aaltojen välien osuus, jotka poikkeavat yli 50 millisekuntia toisistaan. RR-intervalleista voidaan myös laskea perättäisten intervallien erotuksen nelilöjuuri eli RMSSD. Aikakenttäanalyysi mittaa lähinnä parasympaattista aktiivisuutta ja hengityksen aiheuttamaa vaihtelua sykevälivaihtelussa. (Laitio ym. 2001.) Taulukossa 1 on esitetty eri aikakenttäanalyysin muuttujia.

TAULUKKO 1. Aikakenttäanalyysin muuttujat (Task force 1996; Acharya 2006 ym).

Muuttuja	Mitä ilmentää	Yksikkö
SDNN	Sykevälien keskihajonta	ms
SDANN	Keskimääräisten NN-intervallien keskihajonta	ms
RMSSD	Peräkkäisten sykevälien neliöjuuri keskimääräisestä vaihtelusta	ms
NN50	Sykevälien määrä, jossa sykevälien aikaerossa on enemmän kuin 50 ms	ms
pNN50	Prosenttiosuus verrattuna kaikkia sykevälejä ja yli 50 ms meneviä	%

RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences in RR Intervals) tarkoittaa sydämen peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelua. Suuri sykevälivaihtelu viittaa palautumiseen ja siten parasympaattisen hermoston aktiivisuuteen. Vuorostaan vähäinen vaihtelu viittaa korkeaan stressitasoon ja huonoon palautumiseen urheilijoilla. Keskimääräisen sykevälin on todettu kuvaavan parasympaattista aktiivisuutta silloin, kun muutos on samansuuntainen muiden parasympaattista aktiivisuutta kuvaavien muuttujien kanssa. (Task Force 1996; Acharya ym. 2006.) RMSSD:n tiedetään olevan suurempaa vähän liikkuvilla lepotilassa verrattaessa kestävyysurheilijoihin (Aubert ym. 2003). RMSSD on raportoitu laskevan iän myötä noin 3,6 millisekuntia vuosikymmenessä (Antelmi ym. 2004).

3.2.2 Taajuuskenttäänalyysi

Sykevälivaihtelu jaetaan kolmeen eri taajuusalueeseen: korkeataajuuden (High Frequency power, HF), ja matalataajuuden (Low Frequency power, LF) sekä erittäin matalataajuuden (Very Low Frequency power, VLF) sykevälivaihteluun (Task Force 1996). Korkeataajuuden alueella sykevälivaihtelua säätelee muun muassa hengitysrytmi (Acharya ym. 2006). Alueeksi on määritetty 0,15–0,4 Hz. Tämän korkeataajuuden sykevälivaihtelu kuvaa parasympaattista aktiivisuutta ja sen on osoitettu korreloivan vahvasti RMSSD:n kanssa (Task Force 1996; Otzenberger ym. 1998; Acharya ym. 2006). Myös HF:n on raportoitu korreloivan vahvasti testosteronin ja kortisolin suhteen kanssa ortostaattisella kokeella mitattuna (Huovinen ym. 2011). Matalataajuuden sykevälivaihtelu kuvaa sekä sympaattista että parasympaattista toimintaa (Otzenberger ym. 1998). Erittäin matalataajuuden alueeksi on määritetty 0,04–0,15 Hz. Tämän fysiologiaa ei tunneta kovin tarkasti, mutta sen oletetaan liittyvän aineenvaihdunnallisiin ja hormonaalisiin mekanismeihin. Matala- ja korkeataajuusalueen sykevälivaihtelun välistä suhdelukua (LF/HF) on käytetty kuvaamaan sympaattisen ja parasympaattisen hermoston tasapainoa (Task Force 1996), mutta sen luotettavuudesta ei olla yksimielisiä (Le Meur ym. 2013; Saboul 2014). Myös sykevälivaihtelun kokonaistehoa (Total power, TP) on käytetty kuvaamaan autonomisen hermoston kokonaiskuormittumista (Task Force 1996).

3.3 Sykevälivaihtelun mittaaminen kuormituksessa

Kuormituksen aikana sykevälivaihtelun muutoksia on mitattu usealla eri menetelmällä (Sandercock & Brodie 2006). Kuormituksen aikaista sykevälivaihtelua on analysoitu usein joko aika- tai taajuuskenttäänalyysien avulla. Perinteisesti aikakenttäänalyysimenetelmää on käytetty tilanteissa, joissa mitattavan syketaso pysyy muuttumattomana kuten lepotilassa. Sydämensyketason muuttuessa tutkimuksen aikana, on käytetty taajuuskenttäänalyysimenetelmää. Aikakenttäänalyysien käyttöä pidetään ongelmallisena tilanteissa, joissa testattavan sydämensyketaso vaihtelee voimakkaasti mittauksen aikana. (Martinmäki & Rusko 2008.) Kuormituksen aikana sykevälivaihtelussa havaitaan merkittävää vähenemistä ja sykevälivaihtelu vähenee harjoituksen intensiteetin kasvaessa (Tulppo ym. 1996). Sykevälivaihtelun tutkimiseen kuormituksen aikana on käytetty matala ja korkeataajuuden sykevälivaihtelun muuttujia, LF ja HF sekä niiden keskinäistä suhdetta (LF/HF). Sykevälivaihtelua on tutkittu usein lepotilassa, koska parasympaattinen aktiivisuus on tällöin selvemmin havaittavissa. (Sandercock & Brodie 2006.) Käsittelen seuraavaksi tutkimukseni kannalta tärkeimmät urheilijoilla sykevälivaihtelua mitanneet tutkimukset.

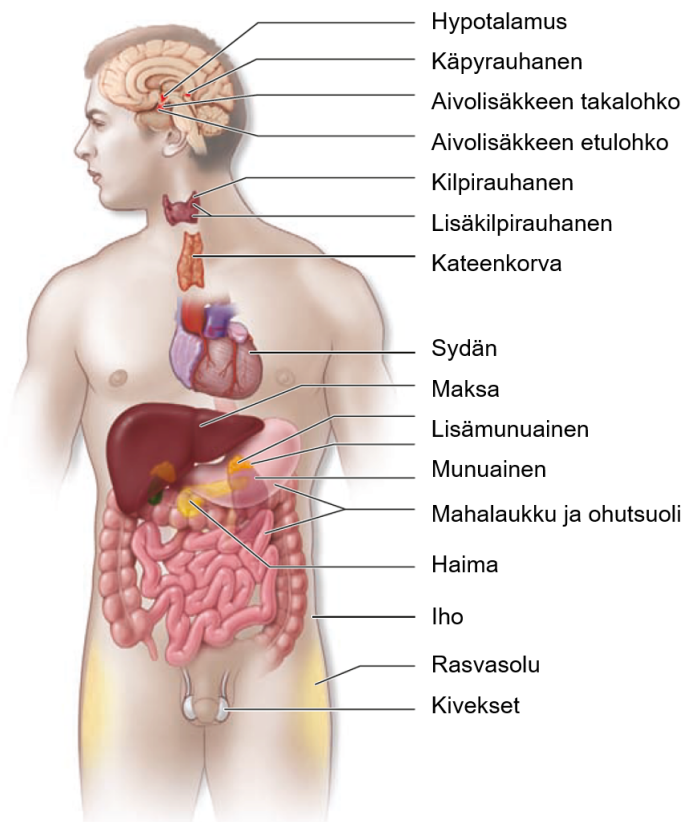
Pichot ym. (2000) tutkimuksessa kestävyysjuoksijoiden sykevaihtelu väheni kolmen viikon harjoittelujakson vaikutuksesta. RMSSD:n suhteellinen muutos väheni merkitsevästi, noin 40 prosenttia harjoittelujakson aikana. Palauttavan viikon jälkeen sykevaihtelu palautui lähtötasolle.

Iellamo ym. (2002) tutkimuksessa suotajien korkeataajuinen sykevälivaihtelu suureni merkitsevästi lähtötasoa suuremmaksi puolen vuoden kohdalla, jolloin harjoittelun intensiteetti kasvoi 75 prosenttiin lähtötasosta. Samalla matalataajuinen sykevälivaihtelu ja LF/HF-suhde vähenivät, mutta muutokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kilpailujen lähestyessä harjoituksen intensiteetti nousi 100 prosenttiin lähtötasosta. Tällöin havaittiin HF:n vähenevän lähtötason alapuolelle ja vastaavasti LF/HF-suhde ja LF nousivat merkitsevästi lähtötason yläpuolelle.

4 HORMONAALINEN SÄÄTELYJÄRJESTELMÄ

Elimistöllä on tarkka tiedonsiirto- ja säätelyjärjestelmä, jotka välittävät viestejä elimiin ja elinjärjestelmiin sekä ottavat vastaan viestejä. Hermo-, immuuni- ja hormonaalinen järjestelmä säätelevät elimistön sisäistä homeostaasia eli tasapainoa kaikissa soluissa. (Alen & Rauramaa 2005, 48.)

Hormonit muodostuvat umpirauhasissa, joista eri hormonit erittyvät verenkiertoon ja säätelevät kohdesolunsa toimintaa (Koistinen & Jänne 2009, 12). Hormonit jaetaan kolmeen eri kategori-
aan; 1) steroidi-, 2) proteiini- (polypeptidi), ja 3) aminohappoyhdistelmät. Esimerkiksi testostero-
ni on steroidihormoni ja kortisoli on polypeptidihormoni. Hormonit säätelevät muun muassa
elimistön energia-aineenvaihduntaa, kasvua ja kehitystä, vesi- ja elektrolyyttitasapainoa ja ent-
syymien sekä geenien toimintaa kohdesoluissa. (Guyton & Hall 2006, 906–907.) Umpieritys-
järjestelmä on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Umpieritysjärjestelmä (Mukailtu McArdle ym. 2011, 378).

Umpirauhasten erittämät hormonipitoisuudet ovat tarkoin säädeltyjä ja niiden määrät ovat pieniä. Umpieritysjärjestelmälle on ominaista negatiivinen ja positiivinen palautejärjestelmä. Negatiivisessa palautejärjestelmässä lisääntynyt hormonipitoisuus veressä vähentää kyseisen hormonin jatkoeritystä, ja näin ollen pitää hormonipitoisuuden oikealla tasolla. Myös positiivista säätelyä esiintyy, mutta se on negatiivista palautesäätelyä vähäisempää elimistössä. (Guyton & Hall 2006, 909.)

4.1 Testosteroni

Testosteroni on anabolinen steroidihormoni, millä on useita vaikutuksia elimistössä. Testosteroni erittyy miehillä kivesten Leydingin soluissa, ja pieniä määriä erittyy myös lisämunuaisen kuorikerroksella. (Guyton & Hall 2006, 1003.) Testosteronin eritystä säätelevät aivolisäkkeen etulohko ja hypotalamus. Aivolisäkkeen etulohko erittää gonadotropiinia vapauttavaa hormonia (GnRH), joka stimuloi aivolisäkettä erittämään lutenisoivaa hormonia (LH) ja follikkelia stimuloivaa hormonia (FHS). (Guyton & Hall 2006, 1006.) Seerumissa testosteronista noin 70 prosenttia on sitoutuneena sukupuolihormoneja sitovaan globuliiniin, SHBG:hen. Lähes puolet testosteronista on sitoutuneena albumiiniin ja vain pieni osa on vapaana verenkierrossa, noin 0,5–3,0 prosenttia. (Zimmerman ym. 2014.) Testosteronipitoisuudella tiedetään olevan voimakas vuorokausivaihtelu. Testosteronipitoisuus on korkeampi aamulla kuin illalla (Bremner ym. 1983).

Testosteroni lisää proteiinisynteesiä ja vähentää proteiinien hajotusta. Testosteroni vahvistaa luukudosta, vaikuttaa aineenvaihduntaan ja lisää monien mineraalien sekä punasolujen määrää elimistössä. (Guyton & Hall 2006, 1005–1006.) Testosteronipitoisuus on todettu vähenevän kuntoilijoilla ja urheilijoilla kehonpainon pudotessa (Mero ym. 2010; Mettler ym. 2010) ja energiavajeessa (Trexler ym. 2014). Testosteronipitoisuuden lasku miehillä on yhdistetty rasvattoman massan (Harman 2001; Roy ym. 2002) ja seksihalujen vähenemiseen sekä masennuksen lisääntymiseen (Isidori ym. 2005). Lisäksi suuri fyysinen aktiivisuus voi laskea testosteronipitoisuutta. Urheilijoilla on raportoitu testosteronipitoisuuden vähenevän kovatehoisen harjoitusjakson jälkeen. (Moore & Fry 2007.) Testosteronipitoisuuden vähenemisen suuruuteen voi vaikuttaa energiavajeen suuruus. Testosteronipitoisuuden laskua on havaittu kuntoilijoilla ja urheilijoilla energiavajeen aikana. Mero ym. (2010) raportoivat 30 prosentin testosteronin laskua naiskuntoilijoilla neljän viikon painonpudotusjakson aikana, jossa energiavaje oli noin 1000 kilokaloria vuorokaudessa. Mäestu ym. (2010) tutkimuksessa testosteronipitoisuus laski

mieskehonrakentajilla 11 viikon kilpailudieetin aikana 11 prosenttia, kun energiavaje oli keskimäärin 540 kcal / vrk. Toisaalta Huovisen ym. (2015) miesurheilijoilla tehdyssä tutkimuksessa ei havaittu testosteronipitoisuuden laskua neljän viikon energiavajeen aikana.

4.2 Kortisoli

Kortisoli on rakenteeltaan steroidihormoni ja sitä erittyy lisämunuaisten kuorikerroksesta. Kortisoli kuuluu glukokortikoideihin ja näistä kortisoli on vaikuttavuudeltaan merkittävin. (Guyton & Hall 2006, 944.) Kortisoli on katabolinen hormoni ja sen tiedetään vähentävän proteiinisynteesiä ja lisäävän proteiinien hajotusta elimistössä (Crewther ym. 2011). Kortisolipitoisuuden erityksessä on suurta vuorokausittaista vaihtelua. Kortisolin erityys on alhaisinta yön aikana ja suurinta aamulla (Borer 2003, 174). Kortisolin eritystä säätelee negatiivinen palautejärjestelmä (Borer 2013, 191). Kortisolin eritystä lisäävät erilaiset elimistön stressitilat. Kortisolin eritykseen vaikuttavat muun muassa alhainen verensokeritaso, energiavaje, ympäristön lämpötila, nestehukka, infektiot, veren plasman nestetilavuuden väheneminen, psyykkinen stressi tai loukaantuminen. (Borer 2003, 92; Guyton & Hall 2006, 953.)

Kortisoli lisää glukoneogeneesiä ja lipolyysiä sekä aminohappojen ja lihas- ja luukudoksen hajottamista elimistössä (Baechle & Earle 2008, 44–45; Borer 2013, 191). Kortisoli toimii muun muassa signaalihormonina lihasten glykogeenivarastoille. Kun lihasten glykogeenivarastot ovat alhaiset, lihasproteiineja tuotetaan energiaksi. (Baechle & Earle 2008, 61.) Kortisolin lepopitoisuus laskee yleensä energiavajeen aikana (Geliebeter ym. 2014). Sen sijaan urheilijoilla on havaittu kortisolipitoisuuden nousua energiavajeen aikana (Prouteau ym. 2006; Rossow ym. 2013), mutta kortisolin laskua ei ole havaittu kaikissa tutkimuksissa (Hulmi ym. 2017). Suurentuneet veren kortisolin lepopitoisuudet voivat viitata urheilijoilla ylirasitustilaan (Fry ym. 2000). Suurentuneilla kortisolin lepopitoisuuksilla voi olla yhteys muun muassa huonompaan kehon koostumukseen (Bose ym. 2009).

Testosteroni- ja kortisolipitoisuuden suhde. Seerumista mitattuna testosteronin ja kortisolin lepopitoisuuden suhdetta on pidetty luotettavana ylikuormittumisen mittarina (Fry ym. 2000). Mikäli suhde laskee yli 30 prosenttia, sen on raportoitu tarkoittavan ylirasitustilaa urheilijoilla (Adlercreutz ym. 1986). Tätä väitettä tukevat urheilijoilla tehdyt tutkimukset (Mäestu ym. 2005; Coutts ym. 2007), tosin ei kaikki tutkimukset (Handziski ym. 2006). Myös sotilailla tehdyt tutkimukset (Chicharro ym. 1998; Booth ym. 2006) tukevat tätä väitettä, sillä testosteroni ja kortisolisuhteen laskua on havaittu ylirasitustilassa olevilla sotilailla. Tanskanen ym. (2011) havaitsivat testosteronin ja kortisolisuhteen laskua ylirasitustilassa olevilla varusmiehillä. Testosteronin ja kortisolin suhteeseen voi olla myös vaikutusta ruokavalion laadulla. Lane ym. (2010) raportoivat, että korkea hiilihydraattipitoinen ruokavalio ehkäisee testosteronin ja kortisolisuhteen laskua kestävyysurheilijoilla kovatehoisen harjoittelujakson aikana.

4.3 Insuliinin kaltainen kasvutekijä-1 (IGF-1)

Insuliinin kaltaista kasvutekijä-1:stä (IGF-1) muodostetaan maksassa kasvuhormonin vaikutuksesta. IGF-1 on anabolinen hormoni. (Chandler ym. 1994.) IGF-1-pitoisuudella on merkittävä rooli elimistön kasvussa ja kehittämisessä sekä aineenvaihdunnassa (Koziris ym. 1999). Sen erittymiseen vaikuttavat ikä, sukupuoli, ravitsemustila ja kasvuhormonin erityyppi. Kasvuhormonilla ja IGF-1:llä on havaittu olevan samansuuntaiset vaikutukset. (Chandler ym. 1994.) IGF-1 onkin vastuussa suurimmasta osasta kasvuhormonin anabolisista vaikutuksista. IGF-1:n tiedetään lisäävän luukudoksen muodostumista, proteiinisynteesiä ja glukoosin sisäänottoa lihaksiin. Se myös ehkäisee tyypitasapainon muuttumista negatiiviseksi ja proteiinien hajoamista lihaksista. (Le Roith 1997.) IGF-1-pitoisuuden on havaittu laskevan energiavajeessa (Cao ym. 2013), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Volek ym. 2002). Sen sijaan korkea proteiinipitoinen ruokavalio on havaittu nostavan IGF-1-pitoisuutta (Willoughby ym. 2007; Arciero ym. 2008; Hunt ym. 2009). Alhaisen IGF-1-pitoisuuden on ehdotettu olevan yhteydessä jopa syöpäkuolemien lisääntymiseen 65-vuotiailla ja sitä nuoremmilla (Levine ym. 2014). Nindl ym. (2007) mukaan IGF-1 on tärkeä stressitilan mittari erityisesti suuressa fyysisessä aktiivisuudessa sekä energia- ja univajeessa. IGF-1-pitoisuus on havaittu olevan yhteydessä kehonpainon ja rasvatomiaan massan vähenemiseen enemmän kuin muut ravitsemustilaa ilmentävät tekijät. IGF-1:n uskotaan kertovan elimistön aineenvaihdunnallisesta tilasta erityisesti sotilailla (Nindl ym. 2012).

4.4 Sukupuolihormoneja sitova globuliini (SHBG)

Sukupuolihormoneja sitova globuliini (SHBG) on maksassa erittyvä steroidihormoni. Noin 70 prosenttia veren testosteronista on sitoutunut SHBG:hen. SHBG-pitoisuuden on havaittu olevan kääntäen verrannollinen seerumin testosteronipitoisuuden kanssa. (Morisset ym. 2008.) Testosteronin ja SHBG-pitoisuudesta voidaan määrittää seerumin vapaan testosteronin määrä usealla eri laskutavalla (Ho ym. 2006). Energiavaje on raportoitu aikaisemmin nostavan SHBG:n pitoisuutta naiskuntoilijoilla, sitä enemmän mitä suurempaa energiavaje on (Mero ym. 2010). Myös urheilijoilla on havaittu SHBG-pitoisuuden nousua painonpudotuksen aikana (Rommich & Sinning 1997). SHBG:n on raportoitu nousevan urheilijoilla myös suuren fyysisen aktiivisuuden seurauksena (Mäestu ym. 2005). SHBG-pitoisuuden nousu voi myös kertoa ylipainotilasta. Tanskanen ym. (2011) raportoivat SHBG:n paastopitoisuuden nousua ylipainoisilla varusmiehillä peruskoulutuskauden jälkeen.

5 SOTILASTEHTÄVIEN AIHEUTTAMAT VASTEET SYKEVÄLIVAIHTELUUN JA HORMONITASAPAINOON

Sotilaalta vaaditaan taistelukelpoisuuden säilyttämistä kaikissa olosuhteissa. Taistelukentän olosuhteet asettavat sotilaan henkisellet ja fyysiselle toimintakyvylle suuret vaatimukset. (Toiskallio 1998, 26.) Taistelijan kuormittumiseen taistelukentällä vaikuttavat monet eri tekijät. Taistelijan kuormittumiseen taistelujen aikana vaikuttavat joukon tehtävä ja vallitsevat olosuhteet sekä taistelijan henkilökohtainen toimintakyky (Kyröläinen & Santtila 2006; Lindholm ym. 2009). Sotilaat altistuvat taistelukentällä myös erilaisille stressitekijöille. Sotilaalle on ominaista suuri univaje sekä suuri fyysinen ja psyykkinen kuormitus ympäri vuorokauden erilaisissa sääolosuhteissa. (Kyröläinen & Santtila 2010.)

5.1 Yksittäisen sotilaan kuormittuminen sotilastehtävissä

Päivittäinen energiankulutus sotilaalla koostuu lepoaineenvaihdunnasta ja fyysisen aktiivisuuden aiheuttamasta energiankulutuksesta sekä nautitun ruoan aiheuttamasta energiankulutuksesta. Fyysisen aktiivisuuden aiheuttama energiankulutus jaetaan vielä tiedostamattomaan ja tiedostettuun fyysiseen aktiivisuuteen. (Hall ym. 2012; Trexler ym. 2014.) Sotilaiden fyysinen kuormitus koostuu pääasiassa pitkäkestoisesta, matalatehoisesta kuormituksesta. Sotilaiden kuormitus vaihtelee eri aselajin ja tehtävän mukaan. (Lindholm ym. 2009; Pihlainen ym. 2014.)

Useissa tutkimuksissa sotilaiden on raportoitu kärsivän energiavajeesta (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2006; Kyröläinen ym. 2008). Energiavaje asettaa haasteita sotilaalle, sillä energiavajeen ollessa liian suurta kehonpaino putoaa ja tällöin menetetään lihas- ja rasvakudosta (Leibel ym. 1995; Trexler ym. 2014) ja maksimivoima voi heikentyä (Mero ym. 2010; Garthe ym. 2011). Energiavaje vaikuttaa elimistön energia-aineenvaihduntaan muuttamalla hormonitasapainoa (Friedl ym. 2000) ja vähentämällä elimistön energiankulutusta (Trexler ym. 2014). Energiavajeessa tiedostamaton fyysinen aktiivisuus vähenee ja energia-aineenvaihdunta siis sopeutuu niukkaan energiansaantiin. Energia-aineenvaihdunnan sopeutumista ehkäistään riittävällä energiansaannilla. (Doucet ym. 2001; Trexler ym. 2014.) Urheilijoiden energian saatavuuden alarajana pidetään 30 kilokaloria rasvatonta painokiloa kohden vuorokaudessa. Energian saatavuuden on oltava riittävää, jotta se kattaa lepoenergiankulutuksen lisäksi fyysisestä aktiivisuudesta syntyvän energiantarpeen. Alle 30 kcal / kg / vrk on havaittu muun muassa alentavan urheilijoiden luun mineraalitiheyttä, proteiinisynteesiä, vastustuskykyä sekä heikentävän har-

joitusadaptaatioita ja hormonien erityistä. (Loucks ym. 2011.) Lisäksi liian alhaisella energiansaannilla voi olla vaikutusta joukon johtajan päätöksentekokykyyn, sillä energiavajeen on raportoitu heikentävän sotilaiden psyykkistä toimintakykyä (Opstad 1994). Energian saatavuuden suosituksena pidetään yli 45 kcal rasvatonta painokiloa kohden, joka luo parhaat edellytykset urheilijoiden suorituskyvylle (Loucks ym. 2011). Alhaista energiansaantia pidetään myös merkittävänä ylirasitustilan riskitekijänä (Mountjoy ym. 2014).

Ylirasitustilassa elimistön palautumiskyky heikkenee, joka on seurausta harjoittelun ja levon välisestä epätasapainosta. Ylirasitustilasta seuraa useimmiten asteittain lisääntyvä väsymys ja suorituskyvyn lasku. (Hynynen ym. 2006.) Pitkittyneestä ylirasitustilasta voi seurata pitkäkestoisempi ylikuntotila, joka aiheuttaa heikentyntä palautumiskykyä, suorituskykyä ja lisää väsymystä sekä mielialan vaihteluja (Meeusen ym. 2012). Tanskanen ym. (2011) raportoivat 33 prosenttia alookkaista olevan ylirasitustilassa peruskoulutuskauden jälkeen.

Maastoharjoituksessa sotilaat altistuvat usealle eri stressitekijälle. Maastoharjoituksissa sotilaat kärsivät univajeesta, energiavajeesta, fyysisestä ja psyykkisestä kuormasta ja olosuhteiden aiheuttamista haasteista. Maastoharjoitusten vaativuus on riippuvainen myös sotilaan aikaisemmasta harjoitustaustasta ja fyysisestä kunnosta. (Tanskanen ym. 2012.) Suorituskyvyn on havaittu laskevan maastoharjoitusten yhteydessä, erityisesti kestävyys-suorituskyvyn (Montain & Young 2003). Toisaalta kestävyys on raportoitu myös kehittyvän maastoharjoituksen aikana (Hodgdon ym. 1991), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Rognum ym. 1986; Montain & Young 2003). Sotilaat kantavat raskaita taakkoja palveluksensa aikana. Yksittäisen taistelijan varusteet painavat keskimäärin jopa yli 30 kg (Kokko 2008) ja riippuen tehtävästä, he kantavat lisäksi muita varusteita taisteluharjoitusten aikana. Fyysiset vaatimukset ovat siis suuret kestävyiden ja voiman osalta (Santtila 2010). Väyrynen (2015) toteaa, että varusmieskoulutuksen suunnittelussa tulisi hyödyntää valmennusopillisia perusteita suunniteltaessa maastoharjoituksia. Myös Salonen (2008) toteaa, että maastoharjoitus aiheuttaa fysiologista stressiä elimistölle, joka tulee huomioida koulutuksen suunnittelussa ja toteutuksessa. Lisäksi Tanskanen (2012) tuo väitöskirjassaan ilmi, että varusmiehiä on valistettava riittävästä energiansaannista erityisesti maastoharjoituksen aikana.

Sotilaiden on oltava hyvässä fyysisessä kunnossa täyttääkseen tehtävänsä ja joukon suorituskykyvaatimuksensa. Santtila ym. (2006) mukaan Suomessa varusmiespalvelukseen astuvien nuorten aerobinen kunto sekä lihaskestävyys heikentyivät merkittävästi vuosien 1975–2004 aikana. Saman ajanjakson aikana nuorten miesten kehonpaino kasvoi. Vuonna 2014 palvelukseen astuvien miesten 12 minuutin juokstestituloksen keskiarvo oli 2450 metriä ja keskimääräinen kehonpaino 77,5 kg (Varusmiesten kuntotilastot 2017). Fyysinen kunto näyttää kehittyvän hyvin kahdeksan ensimmäisen koulutusviikon aikana (Santtila ym. 2008; Tanskanen ym. 2011). Kuitenkin fyysisen kunnon kehitys hidastuu tai jopa pysähtyy liikunnallisesti aktiivisilla erikois- ja joukkokoulutuskaudella (Santtila ym. 2012). Sen sijaan varusmiespalvelus on todettu kehittävän nuorten miesten fyysistä kuntoa ja alentavan heidän kehonpainoa, tosin suurimmat muutokset nähdään liikunnallisesti passiivisilla ja huonokuntoisilla sekä ylipainoisilla varusmiehillä (Mikkola ym. 2012).

5.2 Sotilastehtävien aiheuttamat sykevälivaihtelun vasteet

Fyysinen kuormitus tai muu stressi aiheuttaa sympaattiselle hermostolle ärsykkeen ja sen aktiivisuus lisääntyy, kun taas parasympaattisen hermoston aktiivisuus vähenee. Ärsyke ei välttämättä ole seurausta pelkästään fyysisestä kuormituksesta vaan se voi olla peräisin myös psyykkisestä ärsykkeestä. (Acharya ym. 2006.) Sykevälivaihtelua on pidetty hyvänä autonomisen hermoston tilan (Hynynen ym. 2006), stressin ja harjoittelun (Saboul ym. 2014) sekä erityisesti urheilijoiden ylläpitämis- ja arviointimenetelmänä (Hynynen ym. 2006). On ehdotettu, että sykevälivaihtelua tulee mitata urheilijoilla vähintään kolme vuorokautta, jotta ylikunnon kehittyminen olisi nähtävissä (Plews ym. 2014). Toisaalta sykevälivaihtelun yhteydestä ylläpitämiseen ja ylikuormittumiseen on olemassa paljon ristiriitaisia tutkimuksia (Plews ym. 2012; Le Meur ym. 2013).

Usean tutkimuksen mukaan säännöllinen kestävyys- ja voimaharjoittelu johtaa parempaan kestävyys- ja voimansuorituskykyyn ja tehostuneeseen parasympaattisen hermoston toimintaa, jolloin sykevälivaihtelun muuttujat suurenevat (Lee & Mendoza 2012; Plews 2012). Toisaalta huippu-urheilijoilla on todettu korkeiden harjoittelumäärien vähentävän sympaattisen hermoston säätelyä (Manzi ym. 2009). Lisäksi kovatehoisen harjoituksen aiheuttama lyhytaikainen stressitila voi vähentää sykevälivaihtelua tilapäisesti (Task Force 1996). Le Meur ym. (2013) havaitsivat, että HF ja LF käyttäytyvät samoin ylläpitämis- ja voimansuoritusolosuhteissa olevilla urheilijoilla.

Sotilaiden fyysisestä kuormittumista maastoharjoituksissa sykevälivaihtelulla on tutkittu vain vähän. Kansainvälisiä artikkeleita löytyy kaksi, Jouanin ym. (2004) ja Salonen ym. (2013) -artikkelit sekä kuormittumista sykevälivaihtelulla tutkivia pro gradu -tutkielmia löytyy kolme, Salonen (2008), Keinänen (2011) ja Väyrynen (2015). Sykevälivaihtelu on raportoitu olevan hyvä kenttämittausten menetelmä mittaamaan sotilaiden kuormittumista maastoharjoituksen aikana (Salonen ym. 2013). Käsittelen seuraavaksi tutkimukseni kannalta merkittävimmät sotilailla sykevälivaihtelua mitanneet tutkimukset.

Jouanin ym. (2004) tutkivat sykevälivaihtelua ranskalaisilla kadeteilla viiden päivän harjoituksessa ortostaattisella kokeella kuukauden mittaisen sotilaskoulutusjakson päätteeksi. Alku- ja samalla kontrollimittaukset suoritettiin aamulla, 15 päivää ennen maastoharjoituksen alkamista. Tutkittavat makasivat vähintään viisi minuuttia, jonka jälkeen nousivat seisomaan vähintään viideksi minuutiksi, ja näistä ajanjaksoista analysoitiin sykevälivaihtelua. Loppumittaukset suoritettiin koulutusjakson päätteeksi, joka päättyi viiden päivän maastoharjoitukseen. RMSSD nousi makuuasennossa, mutta ei seisoma-asennossa. HF lisääntyi ja LF laski seisoma-asennossa ja LF/HF:n suhde laski makuuasennossa. Sykevälivaihtelun muutoksia tutkijat selittivät parasympaattinen aktiivisuuden lisääntymisellä väsymyksen seurauksena.

Salonen (2008 & 2013) tutki partiotiedusteluharjoituksen fyysistä kuormittavuutta ja fysiologisia vasteita. Harjoitusvuorokausia oli neljä, mutta tutkimusjakson ajallinen kesto oli noin kolme vuorokautta. Kuormittavuutta mitattiin sykevälivaihtelulla, sydämen sykkeellä ja sykedataan perustavalla energiankulutuksella. RMSSD laski merkitsevästi ($p < 0,05$) harjoituksen aikana. Tutkija arvioi, että yhdessä hormonitasapainon muutosten ja RMSSD:n lasku kanssa, tutkittavat kokivat fyysistä stressiä, joka aiheutui huomattavasta energia- ja univajeesta. Matalataajuisessa sykevälivaihtelun muuttujassa, LF:ssä ja korkeataajuisessa HF:ssä ei tapahtunut muutosta.

Keinänen (2011) tutki viiden päivän jääkärikomppanian taisteluharjoituksen fyysistä kuormittavuutta ja sen vaikutusta suorituskykyyn. Tutkimuksen alkumittaukset toteutettiin harjoituksen ensimmäisen päivän aamuna ja loppumittaukset harjoituksen viimeisen päivän aamuna. Sykemittauksia toteutettiin erikseen päivä- ja yömittauksina. Tutkittavien keskisyke nousi päivämittauksissa harjoituksen aikana merkitsevästi ($p < 0,05$). RMSSD laski harjoituksen aikana merkitsevästi ($p < 0,05$).

Väyrynen (2015) tutki kahden viikon sotilaskoulutuksen kuormittavuutta ja palautumista sykevälivaihtelumuuttujien ja hormonitasapainon avulla. Tutkimusjakso sisälsi neljän vuorokauden kasarmikoulutusjakson sekä seitsemän vuorokauden maastoharjoituksen ja kolmen vuorokauden palautumisjakson. Tutkittavalle suoritettiin ortostaattinen koe, joka jaettiin kahteen eri vaiheeseen: makuuasentoon ja seisoma-asentoon. Makuuasennon ja seisoma-asentoon jakamisen hyödyistä ei ole tukijan mukaan tietoa. Matalataajuinen sykevälivaihtelu (LF) laski maastoharjoituksen aikana ortostaattisen kokeen makuuasennossa merkitsevästi ($p < 0,05$) ja seisoma-asennossa erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$). Korkeataajuinen sykevälivaihtelu (HF) laski makuuasennossa maastoharjoituksen aikana merkitsevästi ($p < 0,05$). RMSSD laski harjoituksen kolmantena päivänä erittäin merkitsevästi. Sen sijaan seisoma-asennossa HF, LF ja RMSSD:n muutoksissa ei havaittu muutosta. Tutkija arvioi, että autonomisen hermoston muutokset yhdessä hormonitasapainon muutosten kanssa selittyivät harjoituksen aiheuttamasta kuormituksesta.

5.3 Sotilastehtävien aiheuttamat hormonitasapainon vasteet

Fyysisellä aktiivisuudella on havaittu olevan vaikutusta sotilaiden elimistön hormonitasapainoon maastoharjoituksissa. Viiden päivän maastoharjoitukset ovat raportoitu alentavan voimakkaasti kehon anabolisia hormonipitoisuuksia ja lisäävän kehon stressihormonipitoisuuksia. (Aakvaag ym. 1978; Opstad 1991.)

Testosteroni. Testosteronin on havaittu laskevan sotilailla maastoharjoituksissa (Gomez-Merino ym. 2004; Nindl ym. 2006; Alemany ym. 2008; Kyröläinen ym. 2008; Salonen 2008; Kallioma 2014) sekä myös pitkäkestoissa 4–8 viikon sotilaskoulutusjaksoissa (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2007; Fortes ym. 2011; Tanskanen ym. 2011), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Huovinen ym. 2011). Testosteronin laskua on selitetty suurella fyysisellä aktiivisuudella (Kyröläinen ym. 2008; Tanskanen ym. 2011) ja energia- sekä univajeella (Gomez-Merino ym. 2004; Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2006; Nindl ym. 2007; Kyröläinen ym. 2008; Salonen 2008; Kallioma 2014; Väyrynen 2015).

Insuliinin kaltainen kasvutekijä-1. IGF-1-pitoisuuden on havaittu laskevan maastoharjoituksissa (Nindl ym. 2006; Kallioma 2014) sekä pitkäkestoissa kahdeksan viikon sotilaskoulutusjaksoissa (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2007; Tanskanen 2012). IGF-1-pitoisuuden laskua on selitetty suurella fyysisellä aktiivisuudella, energiavajeella ja kehonpainon sekä rasvattoman massan putoamisella (Nindl ym. 2007; Nindl 2012).

SHBG. Sukupuolihormoneja sitovan globuliinin pitoisuudessa on havaittu nousua maastoharjoituksissa (Kalliomaa 2014; Väyrynen 2015) ja pitkäkestoisissa fyysisesti haastavissa sotilastehtävissä (Friedl ym. 2000; Tanskanen ym. 2011), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Salonen ym. 2008). SHBG:n nousua on myös havaittu ammattisotilailla fyysisesti kevyemmässä, mutta psyykkisesti haastavammassa esikunta-, viesti- ja johtamisharjoituksessa (Tyyskä 2008). SHBG:n nousua urheilijoilla on selitetty suurella fyysisellä aktiivisuudella (Mäestu ym. 2005). SHBG:n pitoisuuden nousu sotilailla on yhdistetty ylirasitustilaan (Tanskanen ym. 2011).

Kortisoli. Kortisolipitoisuudessa on myös havaittu nousua pitkäkestoisissa sotilaskoulutusjaksoissa (Friedl ym. 2000; Nindl ym. 2007), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Fortes ym. 2011; Huovinen ym. 2011). Kortisolipitoisuuden nousua on havaittu myös lyhytkestoisissa maastoharjoituksissa (Väyrynen 2015) sekä ensimmäisen viiden päivänä aikana pitkäkestoista partiotiedusteluharjoitusta (Kyröläinen ym. 2008), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Gomez-Merino ym. 2004). Toisaalta kortisolipitoisuuden laskua on myös havaittu maastoharjoituksissa (Salonen 2008) sekä 8-viikon peruskoulutuskauden aikana varusmiehillä (Tanskanen ym. 2011). Ylirasittuneilla varusmiehillä on havaittu suurentuneet kortisolipitoisuudet kahdeksan viikon peruskoulutuskauden jälkeen (Tanskanen ym. 2011). Kortisolipitoisuuden laskua ja samanaikaista testosteronipitoisuuden nousua on pidetty palautumisen onnistumisena sotilastehtävistä (Väyrynen 2015).

Testosteroni- ja kortisolipitoisuuden suhde. Veren seerumista mitattuna testosteroni/kortisoli -suhdetta on pidetty luotettavana ylikuormittumisen markkerina. Mikäli suhde laskee yli 30 prosenttia, voitaneen puhua ylirasitustilasta (Adlercreutz ym. 1986). Booth ym. (2006) tutkivat 45 päivän ajan australialaisia sotilaita peruskoulutuskaudella. Heillä havaittiin 56 prosentin lasku testosteronin ja kortisolin suhteessa sekä alentunutta immunitaattia ja aerobista suorituskkyä. Tutkijat päättelivät, että sotilaat kärsivät ylirasitustilasta. Vastaavasti Chicharro ym. (1998) tutkivat espanjalaisia erikoisjoukkojen sotilaita 8 viikon ajan. Tutkijat raportoivat 24 prosentin laskua testosteronin ja kortisolin suhteessa ylikuormittuneilla sotilailla. Myös Tanskanen ym. (2011) havaitsivat testosteronin ja kortisolisuhteen laskua ylirasitustilaa kärsivillä varusmiehillä. Käsittelen seuraavaksi tutkimukseni kannalta merkittävimmät sotilailla hormonitasapainon muutoksia maastoharjoitusten aikana mitanneet tutkimukset.

Gomez-Merino ym. (2004) tutkivat ranskalaisten kadettien hormonitasapainon ja immunitetin vasteita 5 päivän intensiivisen sotilaallisen harjoituksen aikana. Testosteronipitoisuus väheni erittäin merkitsevästi ($p<0,001$) maastoharjoituksen aikana. Kortisolipitoisuudessa ei havaittu muutoksia harjoituksen aikana.

Nindl ym. (2006) tutkivat sotilaiden hormonitoimintaa 4 vuorokauden sotilaallisessa harjoituksessa, jossa suoritettiin sotilaalle tyypillisiä tehtäviä kuten partioimista, marssimista. Sotilaat kokivat rajua uni- ja energiavajetta koko harjoituksen ajan. Kehonpaino, rasvaton massa ja rasvamassa vähenivät merkitsevästi ($p<0,05$) tutkimusjakson aikana. IGF-1-pitoisuus väheni 27 prosenttia ja testosteronipitoisuus 30 prosenttia. Kasvuhormonipitoisuudessa ei havaittu muutoksia. Tutkijat arvioivat, että hormonitasapainon muutokset syntyivät energia- ja univajeesta sekä sotilaalle tyypillisestä fyysisestä aktiivisuudesta.

Salosen (2008) tutkimuksessa seerumin testosteronipitoisuus laski 34 prosenttia ($p<0,01$) ja vapaa testosteroni 31 prosenttia ($p<0,05$). Kasvuhormonipitoisuus nousi harjoituksen viimeisenä päivänä merkitsevästi korkeammalle kuin lähtötilanteessa ($p<0,05$). Kortisolipitoisuudessa havaittiin merkitsevä lasku harjoituksen viimeisenä päivänä ($p<0,01$).

Kyröläinen ym. (2008) tutkivat suomalaisten hormonitasapainon muutoksia vaihtelevassa kuormituksessa 20 päivän maastoharjoituksen aikana. Ensimmäisen viiden päivän raskaan kuormituksen jälkeen testosteronipitoisuus väheni merkitsevästi ($p<0,01$) ja kortisolipitoisuus nousi merkitsevästi ($p<0,01$). Harjoituksen edetessä testosteronipitoisuus alkoi nousta ja 14 päivän kohdalla testosteronipitoisuus oli erittäin merkitsevästi kohonnut edellisestä mittaukseen ($p<0,01$). Vastaavasti kortisolipitoisuus laski kahdeksannen päivän jälkeen, ja tutkijat arvioivat, että syynä oli harjoituksen keventyminen seitsemäntenä päivänä sekä energiansaannin lisääntyminen samanaikaisesti.

Väyrysen (2015) tutkimuksessa testosteroni laski erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) maastoharjoituksen aikana ja palautui merkittävästi palautumisjaksolla ($p < 0,001$). Kortisoli nousi merkitsevästi ($p < 0,05$) harjoituksen neljäntenä päivänä lähtötasoon verrattuna sekä laski harjoituksen loppua kohden harjoituksen viimeiseen päivään. Lähtötason ja harjoituksen viimeisen päivän muutos oli merkitsevä ($p < 0,05$). Kortisoli laski lähtötason ja palautumisjakson välillä erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$). Testosteronin ja kortisolin suhde laski merkitsevästi maastoharjoituksen aikana ($p < 0,01$), ja nousi maastoharjoituksen neljännestä päivästä palautumisjaksolle ($p < 0,01$). Myös lähtötason ja palautumisjakson välillä suhde nousi erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$).

6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Uudistetussa taistelutavassa joukkojen käyttö- ja toimintaperiaatteet ovat aktiivisemmat kaikissa taistelulajeissa aikaisempaan verrattuna (JPTSTOS-O -ALJO 2013, 1). Taistelu laajoilla alueilla vaatii joukkojen uudenlaista käyttöä. Toimivien joukkojen etäisyydet kasvavat perinteisestä kootun ryhmytyksen taistelusta ja joukot taistelevat entistä itsenäisemmin uudistetussa taistelutavassa. (Nisula 2013, 28.) Fyysistä kuormittavuutta ei ole tutkittu uudistuneessa taistelutavassa (Vaara 2013, 54). Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia hajautetun pataljoonan jääkäritaistelijan autonomisen hermoston vasteita ja hormonitasapainoa puolustustaistelussa.

- 1) Aiheuttaako hajautetun pataljoonan puolustustaistelu sydämen autonomisia hermoston vasteita?

Hypoteesi ja perustelut. Hajautetun pataljoonan puolustustaistelu saa aikaan autonomisen hermoston vasteita. Fyysinen kuormitus tai muu stressi aiheuttaa sympaattiselle hermostolle ärsykkeen ja sen aktiivisuus lisääntyy, kun vastaavasti parasympaattisen hermoston aktiivisuus vähenee (Acharya ym. 2006). Sykevälivaihtelua on pidetty hyvänä autonomisen hermoston tilan mittarina (Hynynen ym. 2006). Se on todettu olevan luotettava kuormittuneisuuden mittari kenttäolosuhteissa (Salonen ym. 2013). Myös aikaisempien tutkimusten mukaan sykevälivaihtelun muuttujissa on havaittu laskua (Salonen ym. 2008; Väyrynen 2015).

- 2) Muuttuuko jääkäritaistelijan hormonitasapaino hajautetun pataljoonan puolustustaistelussa?

Hypoteesi ja perustelut. Hajautetun pataljoonan puolustustaistelu muuttaa taistelijoiden hormonitasapainoa. Aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu sotilaiden testosteronipitoisuuden laskua maastoharjoituksissa (Gomez-Merino ym. 2004; Nindl ym. 2006; Alemany ym. 2008; Kyröläinen ym. 2008; Salonen 2008; Kalliomaa 2014). Myös sotilaiden IGF-1-pitoisuuden laskua on raportoitu (Nindl ym. 2006; Kalliomaa 2014) sekä SHBG:n nousua (Kalliomaa 2014; Väyrynen 2015) maastoharjoituksissa. Lisäksi kortisolipitoisuuden nousua on havaittu aikaisemmissa tutkimuksissa (Kyröläinen ym. 2008; Väyrynen 2015).

- 3) Palautuvatko puolustustaistelun aiheuttamat hormonitasapainon ja autonomisen hermoston muutokset 3-4 vuorokauden kuluessa?

Hypoteesi ja perustelut. Jääkäritaistelijat palautuvat puolustustaistelun aiheuttaneista muutoksista. Aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa hormonitasapainon muutokset ovat palautuneet taisteluharjoituksen jälkeen. Sotilaiden testosteronipitoisuus on havaittu nousevan jopa yli lähtötason, samalla kortisolipitoisuuden laskevan lähtötasolle (Kalliomaa 2014; Väyrynen 2015) sekä sykevälivaihtelun kasvavan (Väyrynen 2015). Kyröläinen ym. (2008) mukaan testosteronin noustessa lähtötasolle palaututaan riittävästi maastoharjoituksesta.

7 TUTKIMUSAINEISTO JA –MENETELMÄT

Tutkimus oli osa Puolustusvoimien Tutkimuslaitoksen tekemää Maavoimien toimintakykytutkimusta. Tutkimukselle oli anottu Puolustusvoimien tutkimuslupa (AK9935) sekä Keski-Suomen sairaanhoitopiirin tutkimuseettisen toimikunnan lausunto (6/2014). Tutkimus toteutettiin keväällä ja syksyllä vuonna 2014 Karjalan prikaatissa erikoiskoulutuskauden puolustusharjoituksessa.

7.1 Tutkittavat

Tutkittavat olivat Karjalan prikaatin 1/14 ja 2/14 saapumiserien varusmiehiä. Tutkittavien valinta perustui vapaaehtoisuuteen ja satunnaisotantaan. Ennen tutkimuksen alkua tutkittaville järjestettiin tiedotustilaisuus, jossa heille kerrottiin mahdollisuudesta keskeyttää tutkimukseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa. Tutkimusaineisto siis kerättiin kahdesta eri aineistosta.

Alussa tutkittavien määrä oli yhteensä 48, joista 23 kevään ja 25 syksyn tutkimusjakson aikana. Tutkimuksen suoritti loppuun yhteensä 21 varusmiestä. Tutkimuksen keskeyttäneiden yleisimmät syyt olivat korkeakoulun pääsykokeet, henkilökohtaiset lomat ja sairastumiset. Tässä tutkimuksessa analysoitiin ainoastaan ne koehenkilöt, jotka suorittivat kaikki mittaukset. Tutkittavien taustamuuttujat tutkimuksen alussa on kuvattu taulukossa 2.

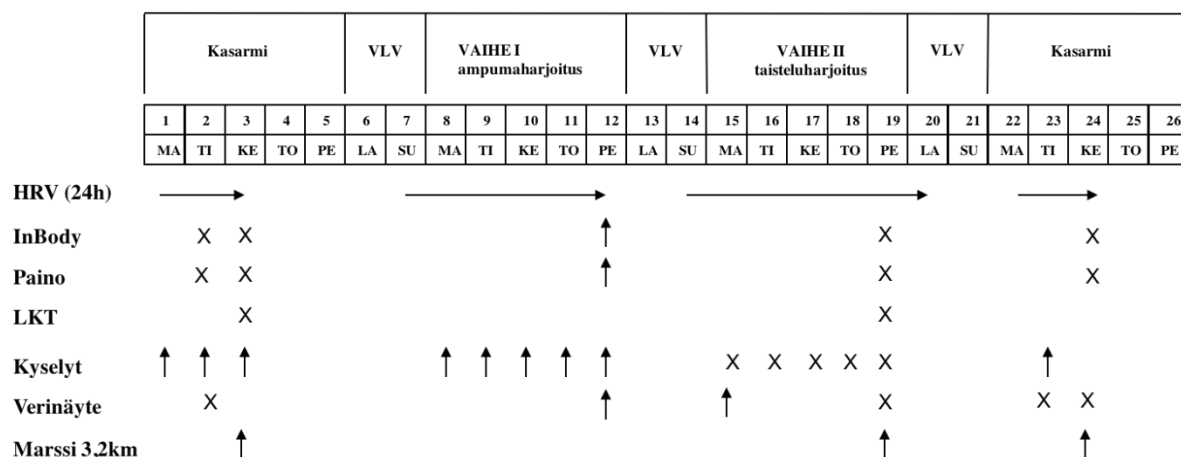
TAULUKKO 2. Tutkittavien taustamuuttujat

TAUSTAMUUTTUUJAT	Tutkittavat n=21
Ikä (vuosi)	20 ± 1
Pituus (m)	1,79 ± 0,05
Paino (kg)	73,8 ± 8,7
BMI	22,8 ± 2,7
12-minuutin juoksutesti (m)	2690 ± 290

7.2 Tutkimusasetelma

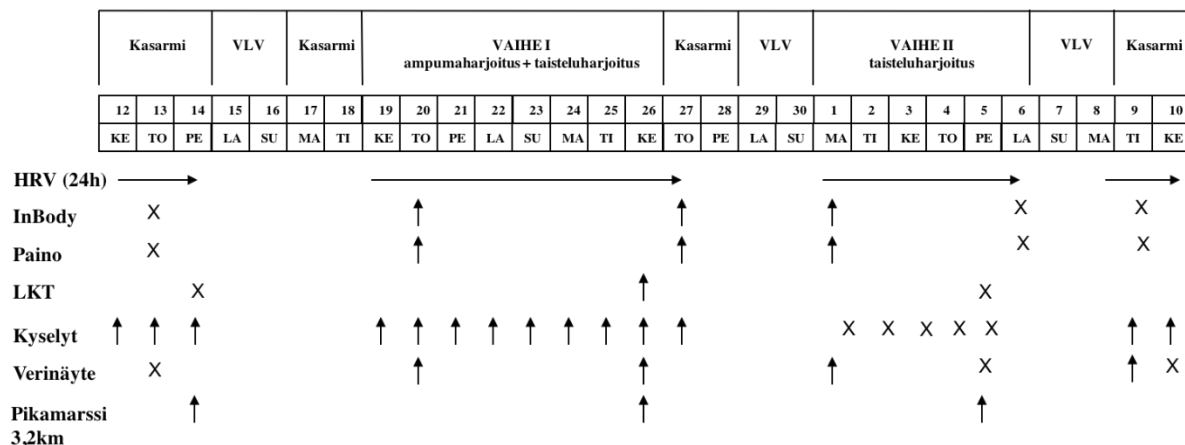
Tutkimus sisälsi useita mittaustapahtumia, joista kaksi ensimmäistä olivat kontrollipäivät toukokuussa ja marraskuussa 2014 ennen puolustusharjoitusta. Mittausten lähtökohdaksi valittiin kasarmikoulutusjakso, joka toimi kontrollijaksona. Toinen mittaus suoritettiin puolustusharjoituksen päättymispäivänä ja kolmas, palautumisjakson mittaus suoritettiin 3–5 päivän jälkeen puolustusharjoituksesta. Palautumisjakson mittaus suoritettiin viikonloppuvapaiden jälkeen kasarmikoulutuspäivänä. Taisteluharjoitukset olivat sisällöltään samanlaiset sekä ne ajoittuvat samalle ajankohdalle koulutuskautta. Kevään tutkimusasetelma on esitetty kuvassa 4 ja syksyn tutkimusasetelma kuvassa 5.

Tutkimusasetelma kevät 2014



KUVA 4. Kevään tutkimusasetelma. X=tarkoittaa tässä tutkimuksessa analysoituja tietoja.

Tutkimusasetelma syksy 2014



KUVA 5. Tutkimusasetelma syksy. X=tarkoittaa tässä tutkimuksessa analysoituja tietoja.

7.3 Verinäytteet

Tutkittavilta mitattiin yöpaaston jälkeen seerumista alku- ja loppumittauksissa testosteronin, insuliinin kaltaisen hormonin kasvutekijä-1:sen, sukupuolihormoneja sitova globuliinin ja kortisolipitoisuudet Jyväskylän yliopiston liikuntatieteellisen tiedekunnan laitteistolla. Taisteluharjoituksen jälkeinen verinäyte otettiin välittömästi harjoituksen päätyttyä. Verinäytteet otettiin käsivarren laskimosta koulutetun sairaanhoitajan toimesta, joka vastasi näytteiden jatkokäsittelystä. Hormonipitoisuudet analysoitiin yhdestä VenoSafe 9 ml seerumiputkesta, jonka annettiin hyytyä vähintään 30 minuuttia näytteenotosta. Näytteet sentrifugoitiin 10 minuuttia 3500 rpm (Megafugee 1.0 R-sentrifugee). Tämän jälkeen näytteen seerumi erotettiin kolmeen erotusputkeen ja putket pakastettiin -80 °C lämpötilassa. Seerumin hormonipitoisuudet analysoitiin entsyymi-immunomäärityksellä (Immulite® 2000 XPi, Siemens Healthcare Diagnostics Products Ltd., Gwynedd, UK). Seerumin testosteronin erottelukyky oli 0,5 nmol/l, SHBG:n 0,2 nmol/l ja kortisolin 5,5 nmol/l.

7.4 Kehon koostumus

Kehon koostumus mittaukset suoritettiin yöpaaston jälkeen aamulla, ennen aamupalaa bioimpedanssimenetelmällä. Bioimpedanssimittaus suoritettiin InBody720 -laitteella (Inbody 3.3, Biospace Co. Seoul, Korea) Bioimpedanssi-mittauksessa tutkittavilla oli yllään ainoastaan alusvaatteet ylimääräisen massan minimoimiseksi. Mittauksen kesto oli noin viisi minuuttia. Tulosten analysoinnissa käytettiin InBody-laitteen antamaa kehonpainoa, rasvaprosenttia ja rasvamassan määrää sekä kehonpainoindeksiä (BMI).

7.5 Autonomisen hermoston tasapaino (sykevälivaihtelu)

Autonomisen hermoston stressitasapainoa sekä elimistön kuormittumista ja palautumista arvioitiin mittausjaksojen aikana kolmen vuorokauden sykevälivaihtelumittauksilla (Firstbeat Bodyguard 2, Firstbeat Technologies OY, Suomi). Sykevälivaihtelusta tarkasteltiin henkilöiden kuormittumista vuorokauden aikana. Lisäksi sykeadatasta mitattiin energiankulutusta ja se analysoitiin Microsoft Excel (for Mac) –ohjelmalla. Sykevälivaihtelumittauksesta analysoitiin taajuuskenttämuuttujista: LF, HF ja LF:n ja HF:n suhde sekä aikakenttäanalyysin muuttujista RMSSD.

7.6 Hermolihasjärjestelmän suorituskyky

Tutkittaville tehtiin ennen harjoitusta ja harjoituksen jälkeen Puolustusvoimien lihaskuntotestit, jossa mitataan alaraajojen räjähtävää voimantuottoa ja voimantuottonopeutta vauhdittomalla pituushypyllä (Bosco ym. 1983) sekä dynaamista lihaskestävyyttä yhden minuutin etunojapunnerrus- (ACSM 2006, 83) ja istumaannousutesteillä (Viljanen ym. 1991).

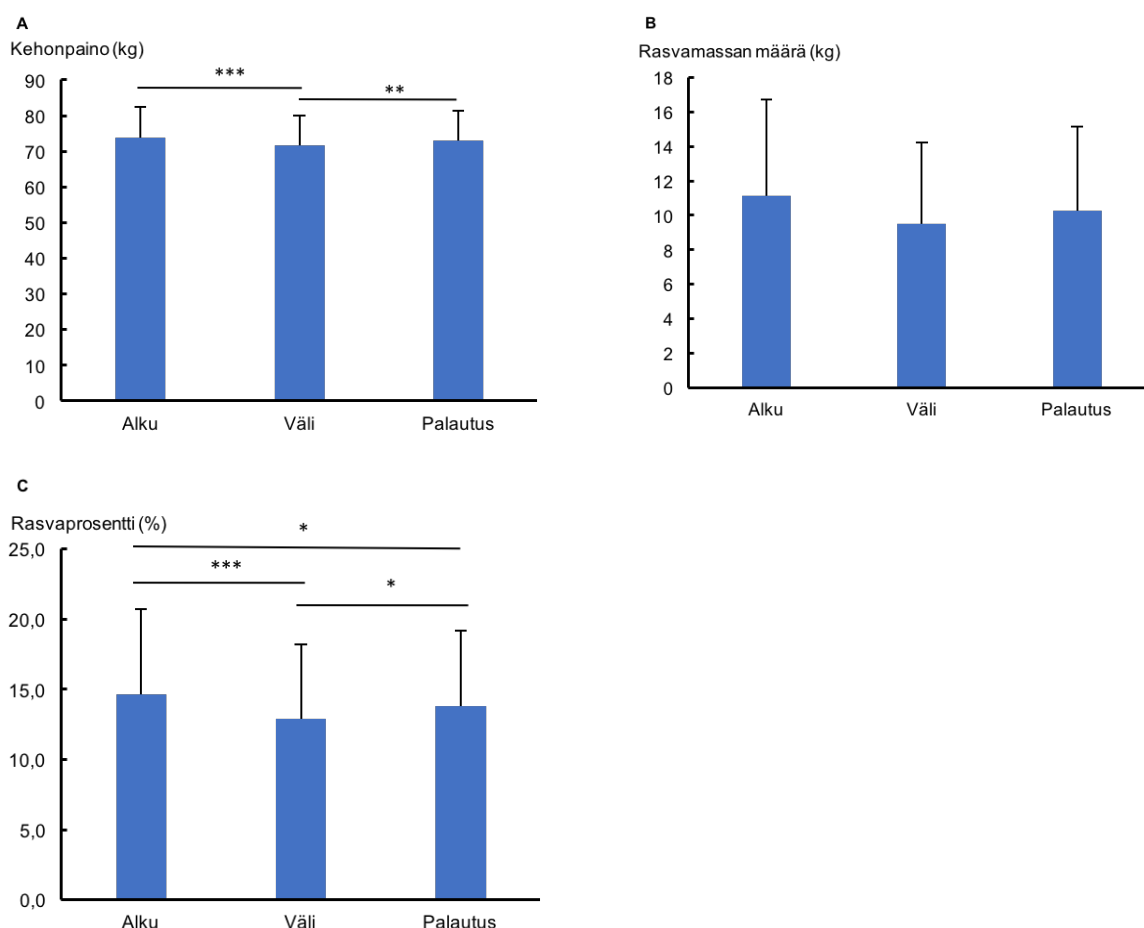
7.7 Tilastolliset menetelmät

Tulosten analysoinnissa käytettiin Microsoft Excel 2016 (versio 15.25.1 for Mac) -taulukkolaskentaohjelmaa ja IBM SPSS 24 Statistics -tilastolaskentaohjelmaa. Keskiarvot ja hajonnat eri muuttujille laskettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Muut tilastolliset analyysit suoritettiin SPSS:llä. Tulokset ilmaistiin absoluuttisina arvoina sekä suhteellisina muutoksina. Tulosten muutosprosentit mittausten välillä on testattu t-testillä (Holm-Bonferronin korjauskerroin). Taajuuskenttäanalyysin sykevälivaihtelumuuttujista otettiin luonnollinen logaritmi, jotta aineistosta saatiin normaalisti jakautunut. Tutkittaessa sykevälivaihtelumuuttujien yhteyttä toisiinsa ja niiden yhteyttä hormonipitoisuuksiin käytettiin Pearsonin korrelaatiota. Tilastollisissa analyyseissä merkitsevyysarvona oli merkitsevä * $p \leq 0,05$ merkitsevä: ** $p \leq 0,01$ ja erittäin merkitsevä: *** $p \leq 0,001$.

8 TULOKSET

8.1 Kehon koostumus

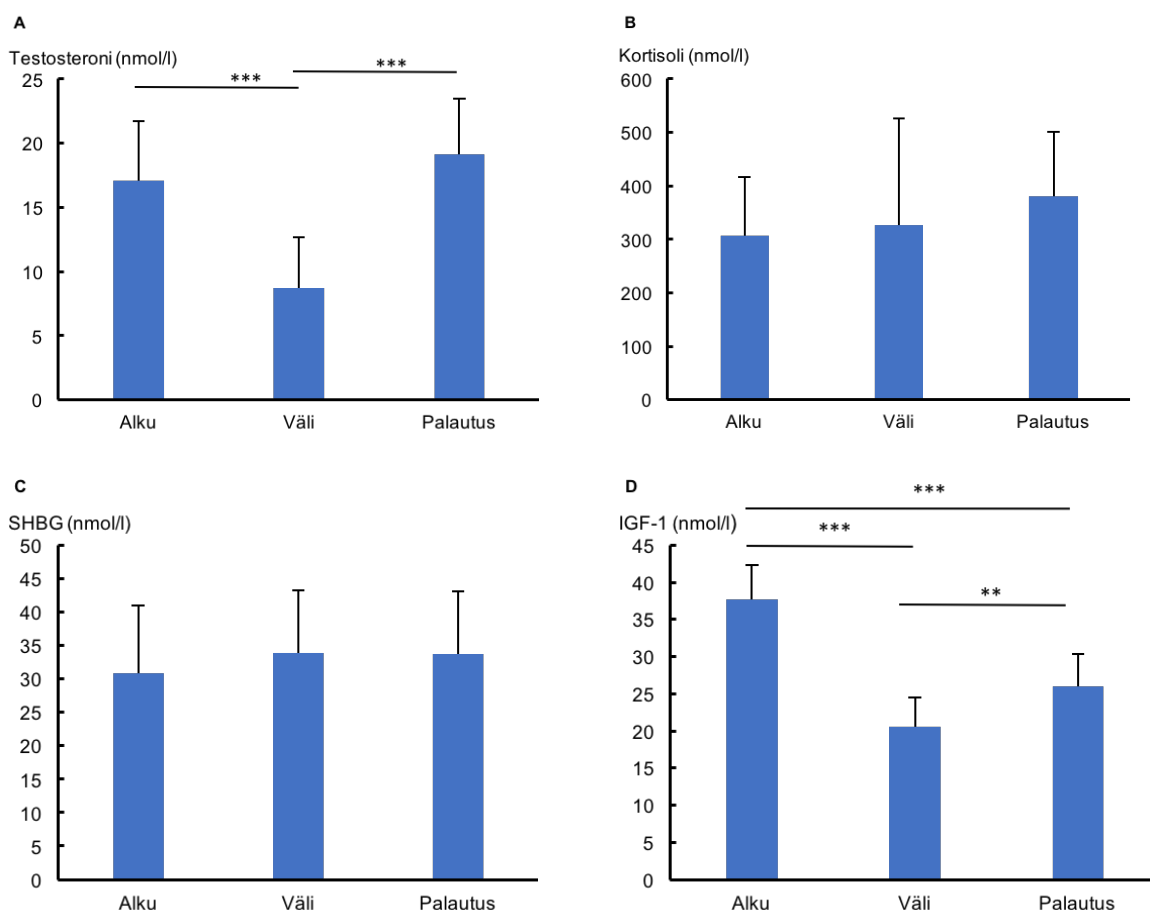
Sotilaiden kehonpaino väheni keskimäärin $74,0 \pm 8,5$ kg:sta $71,5 \pm 8,5$ kg:aan erittäin merkitsevästi puolustusharjoituksen aikana ($p < 0,001$). Kehonpaino laski merkitsevästi välimittauksista palautumisjakson mittauksiin ($p < 0,001$) lähtötasolle, koska alku- ja välimittausten välillä ei havaittu tilastollista merkitsevyyttä. Rasvaprosentti väheni $14,5 \pm 6,0$ %:sta $13,0 \pm 5,5$ %:iin erittäin merkitsevästi puolustusharjoituksen aikana ($p < 0,001$). Rasvaprosentti nousi merkitsevästi välimittauksiin ($p < 0,05$), mutta jäi merkitsevästi vähäisemmäksi palautusmittauksissa verrattuna lähtötasoon ($p < 0,05$). Kuvassa 6 on esitetty kehon koostumuksen muutosten keskiarvot ja niiden keskihajonnat.



KUVA 6. Kehon koostumus. Alkumittaukset (Väli), Puolustusharjoituksen päätteeksi (Väli) ja palautumisjakson jälkeen / loppumittaukset (Palautus). Kehonpaino (A), Bioimpedanssilla mitattu kehon rasvan määrä (B), Bioimpedanssilla mitattu kehon rasvaprosentti (C), muutokset eri mittausajankohtien välillä. * $p < 0,05$ tilastollisesti merkitsevä ero; ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä; *** $p < 0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ryhmien välillä.

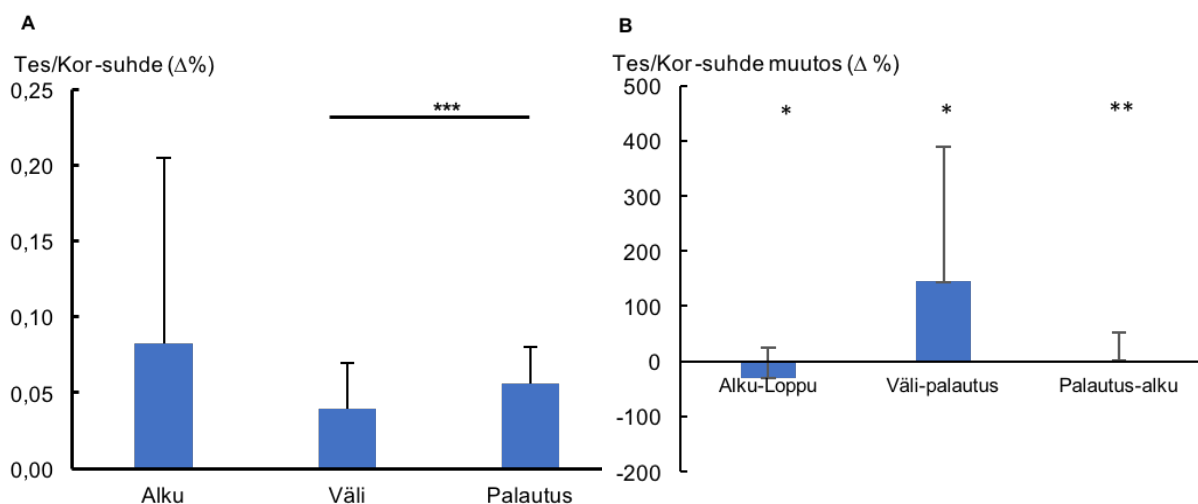
8.2 Hormonipitoisuudet

Sotilaiden testosteronipitoisuus laski harjoituksen aikana $17,0 \pm 4,5$ nmol/l:sta $8,5 \pm 4,0$ nmol/l:an erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) ja nousi $19,0 \pm 4,5$ nmol/l:an erittäin merkitsevästi lähtötasolle välimittauksissa ($p < 0,001$). Kortisolipitoisuudessa ei havaittu muutoksia tutkimusjakson aikana. IGF-1-pitoisuus laski $38,0 \pm 11,5$ nmol/l:sta $21,0 \pm 8,5$ nmol/l:an erittäin merkitsevästi puolustustaistelun aikana ($p < 0,001$) ja nousi $26,0 \pm 6,5$ nmol/l:an merkitsevästi ($p < 0,01$), mutta ei palautunut lähtötasolle loppumittauksissa, sillä alku- ja loppumittausten välillä havaittiin erittäin merkitsevä ero ($p < 0,001$). SHBG:ssä ei havaittu muutoksia tutkimusjakson aikana. Kuvassa 7 on esitetty hormonitasapainon muutosten keskiarvot ja keskihajonnat.



KUVA 7. Hormonitasapainon muutokset. Alkumittaukset (Alku), Puolustusharjoituksen päätteeksi (Väli) ja palautumisjakson jälkeen / loppumittaukset (Palautus). Testosteronipitoisuus (A), Kortisolipitoisuus (B), SHHBG (C), Insuliinin kaltainen kasvutekijä-1 (D), eri mittausajankohtien välillä. * $p < 0,05$ tilastollisesti merkitsevä ero; ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä; *** $p < 0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ryhmien välillä. N=20.

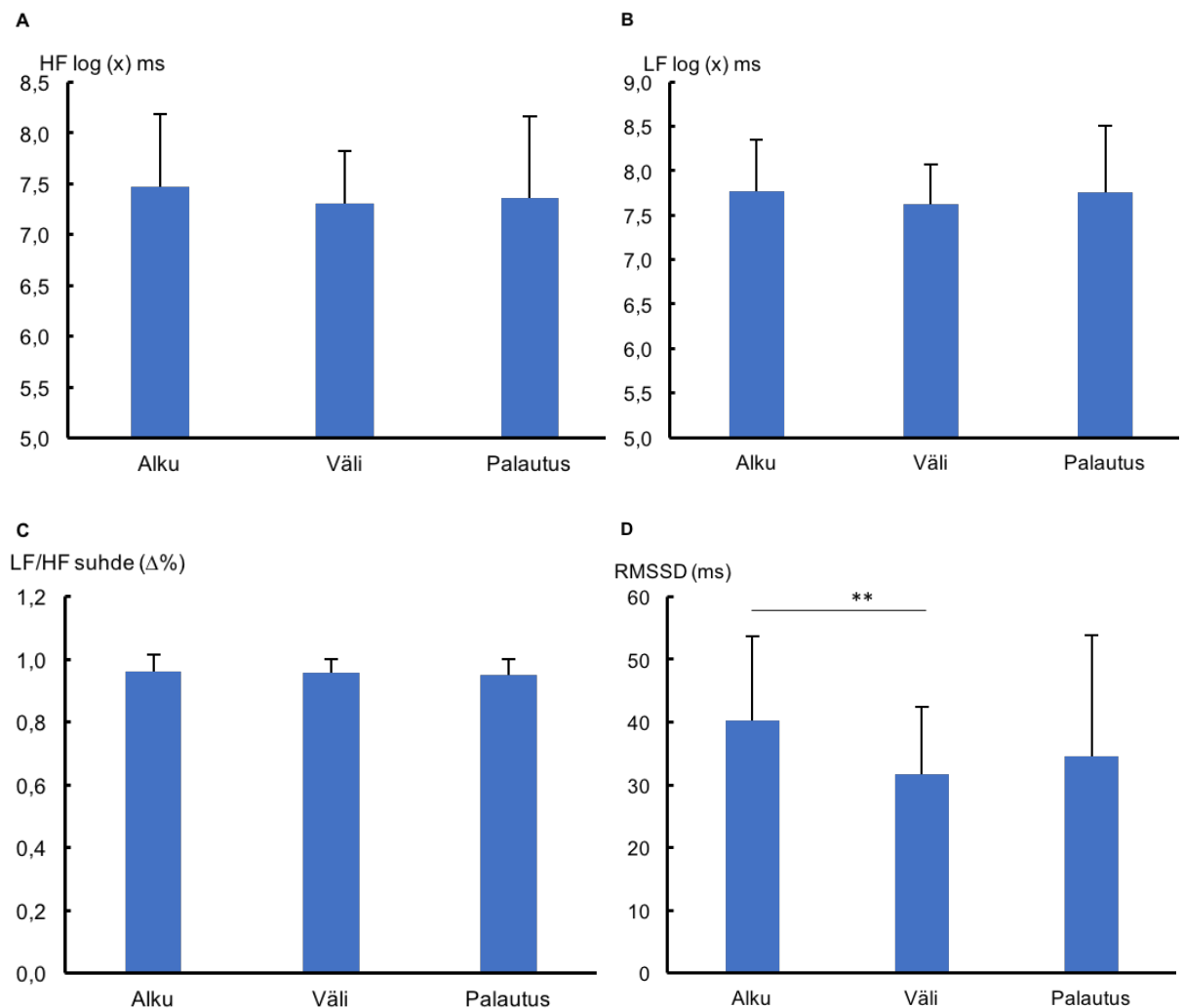
Testosteronin ja kortisolin suhde. Testosteronin ja kortisolin suhde laski $31,0 \pm 54,0$ % puolustustaistelujen aikana, mutta muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0,76$). Vastaavasti harjoituksen jälkeisen mittauksen ja palautumisjakson mittauksen välillä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevää ero ($p<0,001$). Testosteronin ja kortisolin suhteellinen muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevää ero ($p<0,05$) alku- ja välimittausten välisessä muutoksessa. Lisäksi välimittausten ja palautumisjakson välisessä muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevää ero ($p<0,05$). Myös palautus- ja alkumittausten välisessä muutoksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevää ero ($p<0,01$). Kuvassa 8 on esitetty testosteronin ja kortisolin suhteen muutosten keskiarvot ja hajonnat sekä suhteellisen muutoksen keskiarvot ja hajonnat mittaustapahtumien välillä.



KUVA 8. Testosteronin ja kortisolin suhde. Alkumittaukset, puolustusharjoituksen päätteeksi (Väli) ja palautumisjakson jälkeen / loppumittaukset (Palautus). Testosteronin ja kortisolin suhde (A), testosteronin ja kortisolin suhteen suhteellinen muutos (B). * $p<0,05$ tilastollisesti merkitsevää ero; ** $p<0,01$ tilastollisesti merkitsevää ero ryhmien välillä; *** $p<0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevää ero ryhmien välillä. $N=20$.

8.3 Sykevälivaihtelumuuttujat

Sotilaiden RMSSD laski harjoituksen aikana merkitsevästi ($p < 0,01$). RMSSD:n suhteellinen muutos väheni keskimäärin noin 20 % puolustusharjoituksen aikana. Matalan tai korkean taajuuden sykevälivaihtelussa tai LF/HF suhteessa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Kuvassa 9 on esitetty sykevälivaihtelun muutosten keskiarvot ja keskihajonnat.



KUVA 9. Sykevälivaihtelun muutokset (Alku), Puolustusharjoituksen päätteeksi (Väli) ja palautumisjakson jälkeen / loppumittaukset (Palautus). Korkean taajuuden, HF, sykevälivaihtelun (A), Matala taajuuden sykevälivaihtelun (B), Korkea/matala-taajuuden suhteen (C), Sydämen peräkkäisten sykevälien keskimääräistä vaihtelun (D), muutokset eri mittausajankohtien välillä. * $p < 0,05$ tilastollisesti merkitsevä ero; ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä; *** $p < 0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ryhmien välillä. $N=19$.

Sykevälivaihtelu muuttujien keskinäiset korrelaatiot. HF ja RMSSD korreloivat keskenään merkitsevästi alku- ($r=0,817$, $p<0,001$), harjoituksen jälkeisessä mittauksessa ($r=0,807$, $p<0,001$) sekä palautumisjakson mittauksissa ($r=0,67$, $p<0,01$). LF ja RMSSD korreloivat myös keskenään erittäin merkitsevästi alku- ($r=0,615$, $p<0,01$), harjoituksen jälkeisessä mittauksessa ($r=0,558$, $p<0,05$) sekä palautumisjakson mittauksissa ($r=0,581$, $p<0,05$).

Taulukossa 3 on esitetty hormonipitoisuuksien suhteellisten muutosten ja sykevälivaihtelumuuttujien suhteellisten muutoksien välisiä tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita.

TAULUKKO 3. Hormonipitoisuuksien ja sykevälivaihtelumuuttujien keskinäiset korrelaatiot.

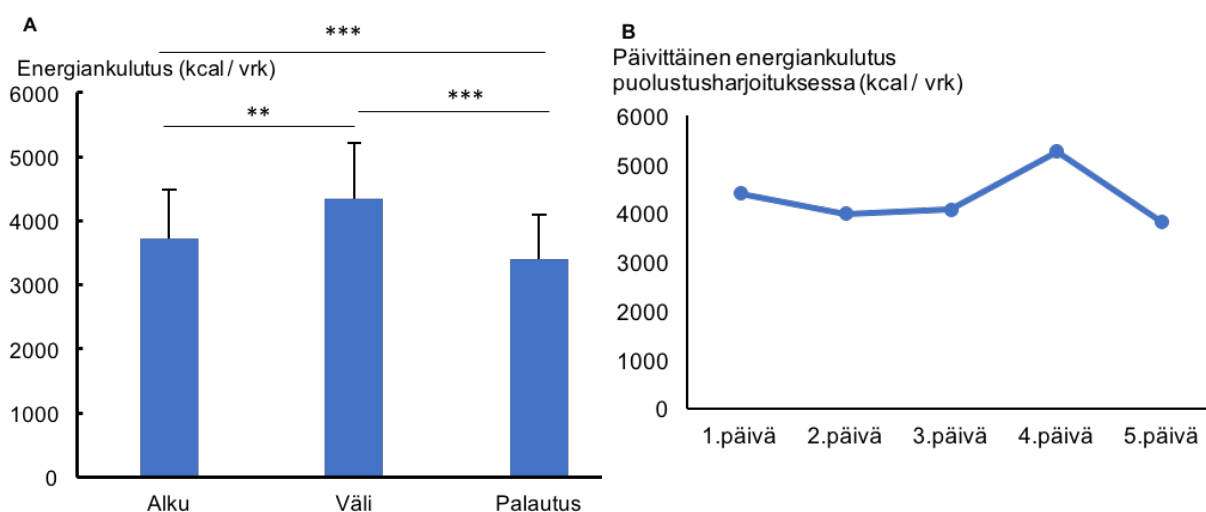
Mittaustapah- tuma	Hormonipitoi- suus	Sykevälimuut- tuja	Korrelaatioker- roin	Merkitsevyys
Alku–välimittaus	IGF-1 suhteelli- nen muutos	RMSSD:n suh- teellinen muutos	-0,565	$p<0,05$
Alku–välimittaus	IGF-1 suhteelli- nen muutos	Matalataajuisen sykevälivaihtelun (LF) suhteellinen muutos	0,433	$p<0,05$
Alku–välimittaus	Testosteronipitoi- suuden suhteelli- nen muutos	LF/HF suhteen suhteellinen muu- tos	0,512	$p<0,05$
Alku–välimittaus	Kortisolipitoisuu- den suhteellinen muutos	LF/HF suhteen suhteellinen muu- tos	0,523	$p<0,05$
Alku–välimittaus	IGF-1:sen suh- teellinen muutos	LF/HF suhteen suhteellinen muu- tos	0,472	$p<0,05$
Väli–loppumittaus	Testosteronipitoi- suuden suhteellinen muu- tos	RMSSD:n suh- teellinen muutos	0,609	$p<0,01$
Väli–loppumittaus	Testosteronin ja kortisolin suhteel- linen muutos	RMSSD:n suh- teellinen muutos	0,728	$p<0,01$
Väli–loppumittaus	Kortisolipitoisuu- den suhteellinen muutos	Korkeataajuisen sykevälivaihtelun (HF) suhteellinen muutos	0,528	$p<0,05$

Tulokset laskettu Pearssonin korrelaatiolla. Tilastollisesti merkitsevä korrelaatio

* $p<0,05$, ** $p<0,01$

8.4 Energiankulutus

Energiankulutuksessa puolustusharjoituksen aikana havaittiin merkitsevä $19,5 \pm 22,0$ % nousu alkumittauksiin verrattuna ($p < 0,01$). Harjoituksen aikainen energiankulutus oli keskimäärin $4331,5 \pm 874,0$ kcal. Energiankulutus laski puolustusharjoituksen lopusta palautusmittauksiin lähtötasolle erittäin merkitsevästi $20,5 \pm 13,5$ %:lla ($p < 0,001$). Loppu- ja alkumittausten välillä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ($p < 0,001$). Kuvassa 10 on esitetty energiankulutuksen keskiarvot ja -hajonnat eri mittausajankohtina sekä päivittäinen energiankulutus puolustusharjoituksessa.



KUVA 10. Energiankulutus. (Alku), Puolustusharjoituksen päätteeksi (Loppu) ja palautumisjakson jälkeen / loppumittaukset (Palautus). Energiankulutus keskimääräisesti eri mittausajankohtina (A), Päivittäinen energiankulutus puolustusharjoituksessa (B). * $p < 0,05$ tilastollisesti merkitsevä ero; ** $p < 0,01$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä; *** $p < 0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ryhmien välillä.

8.5 Suorituskyky

Sotilaiden suorituskykyä mitattiin Puolustusvoimien lihaskuntotestillä alkumittausten ja harjoituksen jälkeisten mittausten yhteydessä. Vauhdittomassa pituushypyssä havaittiin tilastollisesti merkitsevä muutos ($p<0,05$). Taulukossa 4 on esitetty lihaskuntotestitulosten suoritteiden keskiarvot ja -hajonnat.

TAULUKKO 4. Suorituskykymuuttujat

Suorituskykymuuttujat n=21	Alkumittaus	Harjoituksen jälkeinen
Vauhditon pituushyppy (cm)	215 ± 28	200 ± 34*
Punnerrukset (toistoja)	38 ± 22	34 ± 18
Istumaannousu (toistoja)	41 ± 10	42 ± 11

* $p<0,05$ tilastollisesti merkitsevä ero; ** $p<0,01$ tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä; *** $p<0,001$ tilastollisesti erittäin merkitsevä ero ryhmien välillä.

9 POHDINTA

Tieteellistä tutkimusta uudistetun taistelutavan kuormittavuudesta jääkäritaistelijalle ei ole ollut vielä saatavilla (Vaara 2013, 54). Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää hajautetun pataljoonan puolustustaistelun aiheuttamia autonomisen hermoston vasteita ja hormonitasapainon muutoksia jääkäritaistelijalle. Tämä tutkimus osoitti, että hajautetun pataljoonan puolustustaistelu saa sotilailla aikaan parasympaattisen hermoston säätelyn vähenemistä sekä hormonitasapainon muutoksia. Hormonipitoisuuksien muutosten perusteella hajautetun pataljoonan puolustustaistelu voi aiheuttaa taistelijalle ylirasitustilan. Näitä vahvistavat tutkimuksen aikana vähäisesti heikentyneet alaraajojen voimantuotto-kyky sekä mitattu suuri energiankulutus, josta on todennäköisesti aiheutunut alhaista energian saatavuutta sekä energiavajetta. Lisäksi voidaan todeta, että 3–4 vuorokautta eivät riittäneet palauttamaan puolustusharjoituksesta aiheutuneita hormonitasapainon muutoksia.

9.1 Kehon koostumuksen muutokset

Tässä tutkimuksessa sotilaat olivat keskimääräistä paremmassa kestävyyskunnossa ja heidän kehonpainonsa oli alhaisempi kuin palvelukseen astuvilla nuorilla miehillä yleensä. (Varusmiesten kuntotilastot 2017). Kehonpaino, kehon rasvamassa ja rasvaprosentti vähenivät erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) puolustusharjoituksen aikana. Aikaisemmissa tutkimuksissa maastoharjoituksen aikana on havaittu sotilaiden kehonpainon (Nindl ym. 2006; Alemany ym. 2008; Kyröläinen ym. 2008; Salonen 2008) ja rasvamassan (Nindl ym. 2006; Alemany ym. 2008) sekä rasvaprosentin laskua (Nindl ym. 2006; Alemany ym. 2008; Kyröläinen ym. 2008). Myös pitkäkestoisissa 4–8 viikon sotilaskoulutusjaksoissa on havaittu samankaltaisia muutoksia (Nindl ym. 2007; Friedl ym. 2008; Tanskanen ym. 2011). Kehon koostumuksen muutokset olivat todennäköisesti seurausta lisääntyneestä energiankulutuksesta ja siitä aiheutuneesta energiavajeesta. Myös aikaisemmin on raportoitu sotilaiden kärsivän energiavajeesta maastoharjoituksessa (Hoyt ym. 2001; Salonen ym. 2008; Koskensalo 2015). Keskeisin energiankulutusta lisäävä tekijä sotilailla on raportoitu olevan suuri fyysinen aktiivisuus sekä sotilastyön sisältämä fyysinen kuormitus (Hoyt ym. 2001). Lisäksi kuntoilijoilla ja urheilijoilla on raportoitu samankaltaisia kehon koostumuksen muutoksia energiavajeessa (Mero ym. 2010; Garthe ym. 2011; Huovinen ym. 2015).

Kehonpainon vähenemisen on havaittu vaikuttavan negatiivisesti sotilaiden suorituskykyyn (Alemany ym. 2008). Kehonpainon laskun on havaittu heikentävän sotilaiden suorituskykyä. Erityisesti anaerobisen tehon ja maksimaalisen hapenottokyvyn sekä isometrisen maksimivoiman on raportoitu heikkenevän kehonpainon laskiessa (Montain & Young 2003). Nindl ym. (2007) havaitsivat kahdeksan viikon koulutusjakson aikana alaraajojen voiman heikkenemistä yli 20 prosentilla. Isometristä maksimivoiman heikkenemistä on havaittu myös kuntoilijoilla ja urheilijoilla (Mero ym. 2010; Hulmi ym. 2017). Toisaalta kaikissa tutkimuksissa urheilijoiden voiman heikkenemistä ei ole havaittu (Garthe ym. 2011; Huovinen ym. 2015). Lisäksi korkea-proteiinipitoinen ruokavalio näyttäneen ehkäisevän rasvattoman massan vähenemistä kehonpainon laskiessa (Mettler ym. 2010; Hulmi ym. 2017). Kehon koostumuksen negatiivisten muutosten ehkäisemiseksi tulisi kiinnittää erityistä huomiota sotilaiden kokonaiskuormituksen hallintaan maastoharjoitusten aikana.

9.2 Sykevälivaihtelun muutokset harjoituksen aikana

Sykevälivaihtelu on yksilöllistä, ja se riippuu paljon henkilön fyysisestä kunnosta sekä harjoittelusta (Plews 2012; Väyrynen 2015). Kuitenkin sykevälivaihtelumittausta on pidetty hyvänä kuormittumisen ja autonomisen hermoston vasteiden mittarina sotilailla (Jouanin ym. 2004; Salonen ym. 2013). RMSSD laski sotilailla merkitsevästi ($p < 0,01$) puolustusharjoituksen aikana ja suhteellinen muutos väheni keskimäärin noin 20 prosenttia. Samoin aikaisemmin tutkimuksissa on raportoitu RMSSD:n laskua maastoharjoituksen aikana (Salonen ym. 2008 & 2013). Urheilijoilla on havaittu myös RMSSD:n suhteellista vähenemistä intensiivisen harjoitusjakson aikana (Pichot ym. 2000). Kirjallisuuden mukaan RMSSD:n lasku viittaa alentuneeseen parasympaattiseen säätelyyn. Keskimääräisen sykevälin on todettu kuvaavan parasympaattista aktiivisuutta silloin, kun muutos on samansuuntainen muiden parasympaattista aktiivisuutta kuvaavien muuttujien kanssa (Task Force 1996; Acharya ym. 2006). RMSSD:n on havaittu korreloivan vahvasti HF -muuttujan kanssa (Task Force 1996; Acharya ym. 2006). Tämä tutkimus tukee tätä väitettä, sillä HF:n havaittiin korreloivan vahvasti RMSSD:n muutosten kanssa. Toisaalta RMSSD korreloi myös LF:n kanssa, mutta niiden yhteys ei ollut niin vahva kuin HF:n kanssa. Tätä voi selittää se, että LF:n on kirjallisuuden mukaan raportoitu kuvaavan sekä sympaattista että parasympaattista säätelyä (Otzenberg ym. 1998). Voi olla, että HF kuvaa paremmin parasympaattista säätelyä.

Yhtenä selittäväenä tekijänä parasympaattisen säätelyn vähenemiselle voi olla puolustustaistelun aiheuttama kuormitus. Salonen (2013) havaitsi tiedustelijoilla RMSSD:n laskua harjoituksen aikana. Tutkija arvioikin, että RMSSD:n lasku oli seurausta tiedustelijoiden kokemasta rasituksesta harjoituksen aikana. Myös kestävyysurheilijoilla on havaittu RMSSD:n laskua kolmen viikon intensiivisen harjoitusjakson aikana. Toisaalta samaisessa tutkimuksessa myös LF -muuttuja nousi ja HF -muuttuja laski sekä LF/HF-suhde nousi merkitsevästi. RMSSD:n nousua raportoitiin kevennetyn viikon jälkeen. (Pichot ym. 2000.)

Tutkimuksen taajuuskenttäanalyysissä ei havaittu tilastollisesti merkitseviä muutoksia. Jounin ym. (2004) ovat kuitenkin raportoineet taajuuskenttäanalyysin muutoksista, joiden mukaan LF laskee ortostaattisessa kokeessa seisoma-asennossa, mutta ei makuuasennossa. Myös Väyrynen (2015) havaitsi LF:n laskua maastoharjoituksen aikana. Toisaalta Salonen (2013) ei havainnut muutosta LF:ssä harjoituksen jälkeen. Näitä voivat selittää se, että yksilöiden välillä sykevälivaihtelun erot olivat melko suuret, kuten tämän tutkimuksen tulosten keskihajonnasta voidaan todeta. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia sykevälivaihtelun muutoksista (Väyrynen 2015). Voi olla, että sykevälivaihtelu on niin yksilöllistä, että sitä ei voida tarkastella luotettavasti ryhmätasolla. Hedelin ym. (2000a) raportoivat yllärasitustilassa olevilla urheilijoilla korkeataajuisen sykevälivaihtelumuuttujan kasvua, joka palautui lähtötasolle urheilijoiden palaututtua yllärasitustilasta. Soutajilla on myös havaittu HF:n suurentumista kolmen kuukauden aikana harjoittelun kokonaiskuormituksen lisääntyttyä lähtötasosta 75 prosenttiin. Vastaavasti harjoituksen intensiteetin edelleen noustessa 100 prosenttiin lähtötasosta, HF puolestaan laski jopa alle lähtötason. (Iellamo ym. 2002.) Myös sykevälivaihtelun mittausajankohdalla voi olla merkitystä urheilijoita mitattaessa. Hynynen ym. (2006) tutkivat yllärasitustilassa olevien urheilijoiden autonomisen hermoston vasteita yöllä ja heti heräämisen jälkeen. Mittaukset tehtiin 3–6 viikkoa ylikuntodiagnoosin jälkeen. Autonomisen hermoston säätely oli häiriintynyt heti aamulla herätessä, mutta ei yön aikana.

Yhtenä selittävänä tekijänä taajuuskenttäanalyysien muuttumattomuuteen voi olla myös taisteilijoiden ylläsitustila. Testosteronin ja kortisolin suhteen laskusta voitaneen olettaa sotilaiden kärsineen tässä tutkimuksessa ylläsitustilasta. Kuten aikaisemmin on raportoitu, LF/HF-suhde on havaittu olevan kiistanalainen mittari ylläsitustilassa olevilla urheilijoilla (Le Meur ym. 2013). Hedelin ym. (2000b) tutkimuksen mukaan urheilijoiden sykevälivaihtelumuuttujissa ei tapahtunut muutosta lyhytaikaisessa ylläsitustilassa. Aubert ym. (2003) raportoivat, että ryhmätason muutoksia on mahdoton havaita ylläsitustilassa olevien urheilijoiden sykevälivaihtelussa, ja sykevälivaihtelumuutokset ovat hyvin yksilöllisiä. Toisaalta ylikuntoisilla urheilijoilla on havaittu korkeampi LF kuin kontrolliryhmällä (Hynynen ym. 2008). Myös Pichot ym. (2002) raportoivat, että ylläsitustilassa LF/HF-suhde laski parasympaattisen säätelyn lisääntyessä. Tämä aihe kaipaa lisätutkimuksia.

Mittaustapahtumien vähyys voi olla myös yksi merkittävä selittävä tekijä sille, miksi kaikissa sykevälivaihtelumuuttujissa ei havaittu muutosta. Tässä tutkimuksessa lähtötason mittauksessa käytettiin sykevälivaihtelulle yhtä vuorokautta, kun taas puolustusharjoituksesta eli välimitauksesta muodostettiin viiden päivän keskiarvo. Lisäksi palautumisjakson mittauksessa käytettiin yhtä vuorokautta. Le Meur ym. (2013) toteavatkin, että luotettavin tapa mitata ylläsitustilaa sykevälivaihtelumuuttujien avulla, on muodostaa päivittäisistä arvoista viikkokeskiarvot. Siispä merkittävä jatkotutkimuksen aihe olisi mitata sotilaiden kuormittavuutta siten, että lähtötaso määritettäisiin viikon mittaisella kontrollijaksolla, josta muodostettaisiin sykevälivaihtelumuuttujien viikkokeskiarvo. Varsinaisesta harjoituksesta tai tapahtumasta mitattaisiin myös seitsemän päivän jakso, josta määritettäisiin viikkokeskiarvo. Lisäksi palautumisjakson mittaus suoritettaisiin seitsemän päivän ajalta. Näin ollen tulokset olisivat mahdollisesti paremmin vertailukelpoisia keskenään ja autonomisen hermoston muutoksia voisi nähdä sykevälivaihtelumittarilla.

9.3 Hormonipitoisuuksien muutokset harjoituksen aikana

Hajautetun pataljoonan puolustustaistelu laski sotilaiden testosteroni- ja IGF-1-pitoisuutta erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$). Testosteronin ja kortisolin suhde laski yli 30 prosenttia puolustusharjoituksen aikana, mutta ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,76$). Vastaavasti kortisolipitoisuudessa ja SHBG:n pitoisuudessa ei havaittu muutoksia.

Testosteronipitoisuuden muutos. Testosteronipitoisuuden laskun on havaittu alentavan rasvatoman massan määrää (Roy 2002; Harman 2001). Useissa aikaisemmissa tutkimuksissa testosteronipitoisuuden on havaittu laskevan maastoharjoituksissa (Gomez-Merino ym 2003; Nindl ym. 2006; Kyröläinen ym. 2008; Salonen ym. 2008; Kalliomaa 2014). Yhtenä selittävänä tekijänä testosteronipitoisuuden laskulle voi olla kehonpainon aleneminen. Judokoilla tehdyssä tutkimuksessa Roemmich & Sinning (1997) raportoivat, että painonpudotuksella ja testosteronipitoisuuden laskulla on yhteys. Myös samankaltaisia havaintoja on raportoitu kuntoilijoilla (Mero ym. 2010) ja urheilijoilla (Karila ym. 2008). Yhtenä selittävänä tekijänä testosteronipitoisuuden laskulle voi olla sotilaiden kokema suuri fyysinen aktiivisuus puolustustaistelun aikana. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa sotilaiden testosteronipitoisuuden laskua on selitetty suurella fyysisellä aktiivisuudella (Kyröläinen ym. 2008; Tanskanen ym. 2011). Yhtenä selittävänä tekijänä testosteronipitoisuuden laskulle voi olla myös puolustusharjoituksen aikana koettu univaje (Booth ym. 2006). Gomez-Merinin ym. (2004) raportoivat sotilaiden saavan maastoharjoituksessa 3–4 tuntia unta yön aikana. Tässä tutkimuksessa ei mitattu unen määrää, mutta tutkittavilta kerättiin heidän itse raportoimat unenmäärät harjoituksen aikana. Nämä olivat keskimäärin $5,2 \pm 1,2$ h / yö.

Testosteronipitoisuuden laskua tulisi ehkäistä fyysistä rasitusta säätelemällä, välillä vähentäen fyysistä aktiivisuutta. Tässä korostuu joukon johtajan vastuu, kenen täytyy tuntea perusteet urheiluvalmennuksen periaatteista. Kyröläisen ym. (2008) mukaan testosteronipitoisuus nousi erittäin merkittävästi, kun maastoharjoituksen intensiteettiä kevennettiin ja energiansaantia lisättiin yli energiankulutuksen. Myös Friedl ym. (2000) raportoivat tankkauspäivän nostavan hormonipitoisuuksia merkittävästi koulutusjakson puolivälissä. Nindl ym. (2006) raportoivat testosteronipitoisuuden merkittävästi laskua jo 12 tunnin kuluttua maastoharjoituksen alkamisesta, joten voidaan olettaa, että testosteronipitoisuus laskee heti harjoituksen ensimmäisestä päivästä alkaen. Toisaalta Salosen (2008) tutkimuksessa testosteronipitoisuus laski vasta neljäntenä päivänä. Sotilaiden fyysisen toimintakyvyn kannalta voisi olla suotuisampaa ohjelmoida kuormitusta siten, että fyysistä aktiivisuutta vähennettäisiin esimerkiksi ennen ratkaisutaisteluja tai muuta tärkeää tapahtumaa, jossa sotilaiden halutaan olevan suorituskykyisimmillään. Tällä fyysisen kuormituksen ohjelmoinnilla voitaisiin myös ehkäistä ylikuormittumista, kuten Kyröläinen ym. (2008) tutkimus osoittaa. Tähän fyysisesti kevyempään päivään voisi olla myös edullista hormonitoiminnan kannalta lisätä tankkauspäivä, jolloin sotilaat nauttivat energiaa yli heidän energiankulutuksensa, kuten Friedl ym. (2000) ja Kyröläinen ym. (2008) tutkimukset osoittavat.

Yhtenä selittävänä tekijänä testosteronipitoisuuden laskulle voi olla myös puolustusharjoituksessa koettu energiavaje, sillä aikaisemmin on raportoitu, että sotilaat kärsivät energiavajeesta maastoharjoituksissa (Hoyt ym. 2001; Salonen 2008; Koskensalo 2015). Myös urheilijoilla on havaittu testosteronipitoisuuden laskua energiavajeessa (Mero ym. 2010; Hulmi ym. 2017). Samankaltaista testosteronipitoisuuden laskua on havaittu aikaisemminkin (Kyröläinen ym. 2008; Friedl ym. 2000). Kyröläinen ym. (2008) tutkimuksessa testosteronipitoisuus laski viiden päivän maastoharjoituksen jälkeen erittäin merkitsevästi ja tutkijat arvioivat, että noin 1000 kcal energiavaje saattoi olla yksi testosteronipitoisuuden vähenemistä selittävä tekijä. Tätä tukee myös tässä tutkimuksessa mitattu suuri energiankulutus.

Energian saatavuuden on oltava riittävää, jotta se kattaa lepoenergiankulutuksen lisäksi fyysisestä kuormituksesta syntyvän energiantarpeen. Harjoittelun aiheuttama energiankulutus syntyy lihasvaurioiden korjaamisesta, harjoitusadaptaatiosta sekä immuunipuolustuksen ja hormonitoiminnan ylläpidosta (Trexler ym. 2014). Liian alhaisella energiansaannilla voi olla vaikutusta joukon johtajan päätöksentekokykyyn. Energiavajeen on raportoitu myös heikentävän psyykkistä toimintakykyä sotilailla (Opstad 1994). Lisäksi energiavaje on merkittävä ylipainustilan riskitekijä (Mountjoy ym. 2014). Energian saatavuuden ollessa alle 30 kcal rasvatonta painokiloa kohden, on havaittu urheilijoilla muun muassa luun mineraalitiheyden, proteiinisynthesin ja vastustuskyvyn alentumaa sekä harjoitusadaptaatioiden ja hormonipitoisuuksien vähenemistä. Yli 45 kcal / kg pidetään energian saatavuuden suosituksena, mikä luo parhaat edellytykset urheilijoiden suorituskyyvylle. (Loucks ym. 2011) Tässä tutkimuksessa sotilaiden rasvaton massa oli harjoituksen päättyessä keskimäärin $62,0 \pm 5,5$ ja energiankulutus $4340,5 \pm 874,0$ kcal. Päivittäinen lepoenergiankulutus oli Harris-Benedictin kaavalla laskettuna keskimäärin 1680 kcal. Energiavajeen tiedetään vähentävän entisestään lepoenergiankulutusta (Trexler ym. 2014). Harris-Benedictin kaavaa on pidetty luotettavana lepoenergiankulutuksen arviointimenetelmänä (De Lorenzo ym. 1999). Jotta energian saatavuus olisi ollut 45 kcal / kg / vrk, olisi se vaatinut vähintään noin 5400 kcal päivittäistä energiansaantia. Aikaisempien tutkimusten mukaan sotilaat nauttivat energiaa maastoharjoituksissa 2200–3400 kcal (Salonen 2008; Kyröläinen ym. 2008; Tanskanen 2012; Koskensalo 2015). Päivittäistä energiansaantia ei mitattu tässä tutkimuksessa, mutta taistelijoille jaettiin päivittäinen taistelumuonapakkaus, jonka sisältämä energiasisältö oli keskimäärin noin 4000 kcal (Koskensalo 2015).

Kortisolipitoisuuden muutos. Suurentunut veren kortisolipitoisuus voi viitata urheilijoiden yllirasitustilaan (Fry ym. 2000). Kortisolipitoisuuden on havaittu nousevan sekä kahdeksan viikon pitkäkestoisen koulutusjakson aikana (Nindl ym. 2007) että lyhytkestoisen kahdeksan päivän maastoharjoituksen aikana (Alemany ym. 2008). Pitkittyneessä yllirasitustilassa kortisolipitoisuuksien on raportoitu olevan pieniä ja niiden vasteet fyysiseen kuormitukseen ovat olleet vähäisiä (Meeusen ym. 2012). Tässä tutkimuksessa kortisolipitoisuudessa ei tapahtunut muutosta. Samankaltaisia havaintoja on raportoitu Gomez-Merinin ym. (2004) tutkimuksessa, jossa viiden päivän maastoharjoituksen aikana kortisolipitoisuudessa ei havaittu muutosta. Toisaalta kortisolipitoisuuden nousua on havaittu maastoharjoituksen aikana (Alemany ym. 2008; Väyrynen 2015). Kortisolipitoisuuden laskua on puolestaan havaittu maastoharjoituksen aikana (Salonen ym. 2008). Lisätutkimuksia aiheesta tarvitaan.

Testosteronin ja kortisolipitoisuuden suhteen muutos. Testosteronin ja kortisolin suhde voi kertoa yllirasitustilasta, mikäli sen suhde laskee yli 30 prosenttia (Adlercreutz ym. 1986). Toisaalta pelkkä testosteronin ja kortisolin suhteen lasku ei välttämättä ole seurausta yllirasitustilasta (Handziski ym. 2006). Tässä tutkimuksessa testosteronin ja kortisolin suhde laski puolustustaisteluharjoituksen aikana yli 31 prosenttia, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Samankaltaisia muutoksia on havaittu myös Väyrynen ym. (2015) tutkimuksessa. Testosteronin ja kortisolin suhde on todennäköisesti seurausta testosteronipitoisuuden laskusta samalla kortisolipitoisuuden pysyen samalla muuttumattomana. Yllirasitustila voi kuitenkin selittää suhteen laskua. Yllirasitustilasta kärsivillä urheilijoilla on havaittu noin 30 prosentin testosteronin ja kortisoli suhteen laskua (Coutts ym. 2007; Mäestu ym. 2005). Lisäksi yllirasitustilassa olevilla sotilailla tehdyt tutkimukset tukevat tätä väitettä (Chicharro ym. 1998; Booth ym. 2006). Myös Tanskanen ym. (2011) havaitsivat testosteronin ja kortisolisuhteen laskua yllirasitustilassa olleilla varusmiehillä. Voi siis olla, että jääkäritaistelijat kärsivät yllirasitustilasta puolustustaisteluharjoituksen jälkeen. Tätä tukee myös suorituskyvyn heikkeneminen vauhdittomassa pituushypyssä, missä havaittiin tilastollisesti merkitsevää ($p < 0,05$) lasku harjoituksen jälkeen. Aikaisemmin sotilaiden yllirasitustila on yhdistetty heikentyneeseen suorituskykyyn ja vastustuskykyyn (Tanskanen 2012). Yllirasitustilan tiedetään heikentävän palautumiskykyä ja lisäävän väsymystä, mielialan vaihteluja sekä keskittymishäiriöitä (Meeusen ym. 2012).

Insuliinin kaltainen kasvutekijä-1:sen muutos. IGF-1-pitoisuuden uskotaan ilmentävän elimistön aineenvaihdunnallista tilaa sotilailla (Nindl ym. 2012). Sotilaiden IGF-1-pitoisuus laski erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$) puolustusharjoituksen aikana. Samankaltaisia havaintoja on raportoitu myös aikaisemmissa tutkimuksissa (Nindl ym. 2006; Kalliomaa 2014). Yhtenä selittävänä tekijänä IGF-1-pitoisuuden laskulle voi olla energiavaje. Energiavajeen on havaittu laskevan IGF-1-pitoisuutta (Cao ym. 2013), mutta ei kaikissa tutkimuksissa (Volek ym. 2002). Niin ikään sotilailla on havaittu energiavajeen laskevan IGF-1-pitoisuutta (Nindl ym. 1997; Nindl ym. 2003). Samoin selittävänä tekijänä IGF-1:n laskulle voi olla suuri fyysinen aktiivisuus, josta on raportoitu aiemmissa sotilailla tehdyissä tutkimuksissa (Nindl ym. 1997; Nindl ym. 2003; Nindl ym. 2006; Tanskanen ym. 2011). Myös urheilijoilla äkillisen harjoitteluvolyymin nousun on raportoitu laskevan IGF-1 pitoisuutta (Eliakim ym. 2002). Lisäksi riittämätön proteiininsaanti voi selittää IGF-1:n pitoisuuden nousua ja sitä, miksi se ei palautunut välimittauksiin mennessä. Proteiinin riittämättömän saannin on raportoitu laskevan IGF-1-pitoisuutta (Nindl ym. 1997; Nindl ym. 2003). IGF-1-pitoisuuden on ehdotettu olevan erityisen herkkä energiavajeen mittari (Henning ym. 2013).

SHBG:n muutos. Sukupuolihormoneja sitova globuliini (SHBG) on maksassa erittyvä steroidihormoni. Noin 70 prosenttia seerumin testosteronista on sitoutuneena SHBG:hen. (Morisset ym. 2008.) Tässä tutkimuksessa SHBG:n pitoisuudessa ei havaittu muutoksia. Samankaltaisia tuloksia on raportoinut myös Salonen (2008). Toisaalta Kalliomaa (2014) ja Väyrynen (2015) havaitsivat SHBG:n nousua maastoharjoituksen aikana. Energiavajeen on raportoitu selittävän SHBG:n pitoisuuden nousua (Roemmich & Sinning 1997; Mero ym. 2010) ja suuren fyysisen aktiivisuuden on havaittu nostavan urheilijoiden SHBG:n pitoisuutta (Mäestu ym. 2005). Tämä tutkimus ei tue näitä väitteitä. Lisätutkimuksia aiheesta kaivataan.

9.4 Sykevälivaihtelun ja hormonipitoisuuksien muutokset palautumisjaksolla

RMSSD nousi takaisin lähtötasolle palautumismittauksiin eikä alkua- ja palautusmittausten välillä havaittu tilastollista merkitsevyyttä. RMSSD:n ja testosteronipitoisuuden suhteellisella nousulla harjoituksen jälkeisen ja palautumismittausten välillä havaittiin kuitenkin vahva yhteys. Tämä voi selittää RMSSD:n nousun kuvaavan parasympaattisen hermoston aktiivisuuden lisääntymistä palautumisjaksolla, sillä testosteronipitoisuuden tiedetään suurenevan parasympaattisen aktiivisuuden lisääntyessä (Chichinadze & Chichinadze 2008). Kuitenkaan taajuuskenttäanalyysissä ei havaittu muutosta, vaikka HF:n ja LF:n ja RMSSD:n välillä havaittiin tilastollisesti erittäin merkitsevät yhteydet kaikissa mittausajankohdissa ($p < 0,001$).

Testosteronipitoisuus nousi erittäin merkitsevästi lähtötasolle ($p < 0,001$) 3–4 vuorokauden palautumisjakson aikana. Yhtenä selittävänä tekijänä testosteronipitoisuuden nousulle voi olla energiansaannin nousu ja fyysisen rasituksen väheneminen, jolloin energian saatavuus nousee (Trexler ym. 2014). Myös kehonpainon nouseminen tukee tätä väitettä. Aikaisempien tutkimusten mukaan testosteronipitoisuuden on havaittu nousevan sotilailla, kun fyysistä aktiivisuutta kevennetään ja energiansaantia kasvatetaan (Kyröläinen ym. 2008). Myös yksittäisen tankkauspäivän on havaittu nostavan sotilaiden testosteronipitoisuutta energiavajeen aikana (Friedl ym. 2000). Voi olla, että sotilaat ovat nauttineet energiaa reilusti yli kulutuksen palautumisjakson aikana tässä tutkimuksessa. Toisaalta IGF-1-pitoisuus ei palautunut lähtötasolle, joten voi olla, että energiaa ei siitä huolimatta nautittu riittävästi. IGF-1-pitoisuus nousi tässä tutkimuksessa tilastollisesti merkitsevästi harjoituksen jälkeisen ja palautumismittausten välillä ($p < 0,01$) mutta jäi kuitenkin lähtötason alapuolelle erittäin merkitsevästi ($p < 0,001$). Energiavajeen tiedetään vaikuttavan IGF-1:n erittymiseen negatiivisesti (Henning ym. 2013), mutta tätä ei ole todettu kaikissa tutkimuksissa (Volek ym. 2002). Palautumisjaksoa ei tässä tutkimuksessa kontrolloitu, vaan sotilaat viettivät kyseisen ajan viikonloppuvapaalla. Tässä olisi merkittävä jatkotutkimuksen aihe, jossa tutkittaisiin millainen fyysinen aktiivisuus ja energiansaanti palauttaa tehokkaimmin hajautetun jääkäripataljoonan puolustustaistelun aiheuttamat hormonitasapainon muutokset.

Lisäksi testosteronin ja kortisolin suhde nousi tilastollisesti erittäin merkitsevästi puolustusharjoituksen jälkeisestä mittauksesta palautusmittauksiin ($p < 0,001$). Suhteen nousu on todennäköisesti seurausta testosteronipitoisuuden noususta samalla kortisolipitoisuuden pysyen muuttumattomana. Yhtenä selittävänä tekijänä suhteen nousulle voi olla fyysisen rasituksen väheneminen palautumisjaksolla. Handziski ym. (2006) havaitsivat testosteroni ja kortisolin suhteen nousua jalkapalloilijoilla kilpailuun valmistavalla kaudella, jolloin harjoittelun määrää oli kevennetty aikaisemmasta harjoituskaudesta.

9.5 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet

Tutkimuksen uutuusarvo on merkittävä, sillä aikaisemmin ei ole tutkittu uudistetun taistelutavan fyysistä kuormittavuutta sotilailla. Vahvuutena tutkimukselle on varsinkin se, että tutkittavat suorittivat sotilaalle tyypillistä työtä ja tutkimus järjestettiin maastoharjoitusten yhteydessä sotilaalle luonnollisissa toimintaympäristöissä, kenttätutkimuksena.

Tämä tutkimus oli osa Puolustusvoimien Tutkimuslaitoksen tekemää Maavoimien toimintakykytutkimusta. Tässä tutkimuksessa tutkittua puolustusharjoitusta edelsi ampumarjoitus, jonka aiheuttama kuormittavuus on voinut vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. Toisaalta tutkimusasetelmasta on nähtävissä, että koulutuksen kuormittavuus on toteutettu normin mukaan. Asevelvollisten fyysisen koulutuksen normin liite 1:sen (2012) mukaan koulutuksen suunnittelu tulee toteuttaa siten, että joka kolmas tai neljäs viikko on kevyt. Mikäli erittäin kuormittavia viikkoja on 2–3 peräkkäin, tulee niiden jälkeen olla rasitukseltaan kevyempi viikko. On myös hyvä huomioida viikonloppuvapaat, jotka sijoittuivat ennen puolustusharjoitusta, jolloin sotilaat ovat todennäköisesti palautuneet aikaisemmasta rasituksesta. Myös testosteronipitoisuuden nousu vahvistaa tätä väitettä, sillä kuten jo aiemmin on mainittu, Kyröläinen ym. (2008) raportoivat, että mikäli testosteronipitoisuus nousee viikonloppuvapaan aikana lähtötasolle, voidaan sotilaiden olettaa palautuneen edellisen viikon rasituksesta. Toisaalta tässä tutkimuksessa viikonloppuvapaa ei riittänyt palauttamaan IGF-1-pitoisuutta.

Lisäksi kahden harjoituksen yhdistäminen, joissa koehenkilöt eivät ole samat, voi myös vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Myös harjoitusten eri ajankohdat ja sääolosuhteet voivat vaikuttaa tulosten luotettavuuteen, sillä ilman lämpötilan on havaittu vaikuttavan esimerkiksi energiankulutukseen. Hoyt ym. (2001) tutkimuksessa sotilaat kuluttivat energiaa keskimäärin 800 kcal enemmän kylmässä kuin lämpimässä lämpötilassa. Tosin, suurempi energiankulutus selittyi ainakin osittain lisääntyneellä fyysisellä aktiivisuudella kylmässä toimineella ryhmällä. Tässä tutkimuksessa olosuhteet, lämpötila ja sää olivat sen sijaan samankaltaiset, vaikka harjoitukset olivatkin eri vuodenaikoina.

Tutkimuksen heikkoudeksi voidaan katsoa se, että tutkittavien tehtäviä ei otettu tässä tutkimuksessa huomioon. Fyysinen ja psyykkinen kuormittuminen ei jakaannu tasaisesti ryhmässä, vaan eroja syntyy muun muassa ryhmäkohtaisista materiaaleista, joita ryhmä kuljettaa tehtävässään mukana. Lisäksi palautumisjakso ei ollut kontrolloitu vaan tutkittavat olivat viikonloppupaalla. Jatkossa olisi hyvä toteuttaa palautumisjakso kontrolloidusti kasarmiolosuhteissa, jolloin voitaisiin luotettavammin verrata sen tuloksia.

Kehon koostumuksen muutosten luotettavuutta heikentää se, että tässä tutkimuksessa kehon koostumuksen analysointiin käytettiin ainoastaan yhtä menetelmää. Bioimpedanssi mittaa kehon nesteen määrää ja sähkön johtavuutta (Fogelholm 2007, 50). Sillä voidaan mitata solun ulkoisen ja sisäisen nesteen määrää, joita voidaan käyttää muun muassa arvioimaan kehon nestetasapainoa. Lisäksi bioimpedanssia on käytetty mittaamaan kehon koostumusta (Ackland ym. 2012). Bioimpedanssin onkin raportoitu yliarvioivan rasvaprocentin ylipainoisilla noin 14,0 prosenttia ja lihavilla noin 11,0 prosenttia (Pimentel ym. 2010). Bioimpedanssi ei ole välttämättä tarkka kehon koostumuksen mittausväline lihavilla (Neovius ym. 2006; Pateyjohns ym. 2006). Bioimpedanssi voi olla kuitenkin riittävän tarkka mittaamaan muutoksia ryhmätasolla, mutta ei yksilötasolla (Pineau ym. 2007). Urheilijoiden rasvaprocenttia mitattaessa bioimpedanssilla mittausvirhe oli noin 3,5 prosenttia (Ackland ym. 2012). Dual X-Ray Absorptiometry -laite (DXA) voisi olla luotettavampi kehon koostumuksen mittausväline, sillä Sillanpään ym. (2014) mukaan bioimpedanssi aliarvioi rasvaprocentin ja rasvamassan sekä yliarvioi rasvattoman massan määrää verrattuna DXA:an. Tulevaisuudessa tulisikin pyrkiä tutkimaan sotilaiden kehon koostumusta usealla eri menetelmällä, kuten DXA:lla, bioimpedanssilla ja ihopoimumittauksella. Useamman menetelmän käyttö lisäisi tulosten luotettavuutta.

Sykevälivaihtelumittauksessa on haasteita erityisesti kuormituksen aikaisessa mittauksessa, sillä sykevälivaihtelumittaus on pääasiassa parasympaattisen hermoston mittausväline. Sen sijaan kuormituksen aikana parasympaattisen hermoston aktiivisuuden tiedetään heikkenevän ja sympaattisen aktiivisuuden lisääntyvän. Myös aikakenttäanalyysien käyttöä pidetään ongelmallisena tilanteissa, joissa testattavan syketaso muuttuu voimakkaasti mittauksen aikana (Martinmäki & Rusko 2008). Sykevälivaihtelua on tutkittu lepotilassa, koska parasympaattinen aktiivisuus on tällöin selvemmin havaittavissa (Sandercock & Brodie 2006). Tämän vuoksi kuormituksen aikainen sykevälivaihtelun mittaaminen ei välttämättä ole luotettavaa. Kuten jo aikaisemmin on todettu, sykevälivaihtelun luotettavuutta heikentää myös sykevälivaihtelun mittaus tapahtumien vähyys. Tässä tutkimuksessa lähtötason mittauksessa käytettiin sykevälivaihtelulle yhtä vuorokautta, kun taas puolustusharjoituksesta eli välimittauksesta tehtiin viiden päivän keskiarvo. Lisäksi palautumisjakson mittauksessa käytettiin yhtä vuorokautta. Le Meur ym. (2013) toteavatkin, että luotettavin tapa mitata sykevälivaihtelua on muodostaa päivittäisistä sykevälivaihtelun arvoista viikkokeskiarvot. Kuitenkin energiankulutuksen arviointia sykedatan perusteella on pidetty kohtuullisen luotettavana, koska energiankulutuksen ja sydämensykkeen välinen yhteys tunnetaan hyvin. Matalilla syketasoilla työskentely heikentää kuitenkin menetelmän luotettavuutta. (Hiilloskorpi ym. 2003.)

Hormonipitoisuuksien analysointi toteutettiin alkua- ja palautumisjakson mittauksissa aamulla, yöpaaston jälkeen. Harjoituksen jälkeinen mittaus toteutettiin heti harjoituksen päätyttyä. Tämä voi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen, sillä testosteronipitoisuudella tiedetään olevan voimakas vuorokausivaihtelu. Testosteronipitoisuus on korkeammalla aamulla kuin illalla (Bremner ym. 1983).

9.6 Johtopäätökset ja käytännön sovellutukset

Tutkimusten tulosten perusteella voidaan tehdä seuraavat tutkimusongelmiin liittyvät johtopäätökset.

1. *Hajautetun jääkäripataljoonan puolustustaistelu on erittäin kuormittavaa jääkäritaistelijalle ja se voi aiheuttaa jopa ylirasitustilan.*

Tätä väitettä tukevat parasympaattista aktiivisuutta kuvaavan RMSSD:n merkitsevä väheneminen, testosteroni- ja IGF-1 pitoisuuden erittäin merkitsevä lasku sekä testosteronin ja kortisolisuhteen yli 30 prosentin lasku puolustusharjoituksen yhteydessä. Huomionarvoista on myös se, että IGF-1-pitoisuus ei palaudu 3–4 vuorokauden palautumisjakson aikana, vaan jää lähtötason alapuolelle. Lisäksi kehon koostumuksen muutokset, jotka olivat erittäin merkitseviä, tukevat myös tätä väitettä. Sotilaat kärsivät todennäköisesti energia- ja univajeesta puolustustaistelun aikana.

Sotilaiden fyysistä aktiivisuutta tulisi ohjelmoida urheiluvalmennuksen harjoittelun ohjelmoinnin periaattein ja koulutuksen suunnittelussa myös tulisi noudattaa Asevelvollisten fyysisen koulutuksen (2012) normin mukaisia periaatteita. Jos viiden vuorokauden puolustustaisteluharjoitus aiheuttaa taistelijassa tämän kaltaisen hormonitasapainon muutoksen ja mahdollisesti ylirasitustilan – mitä tapahtuu, kun taisteluvaihe pitkittyy esimerkiksi kriisin aikana? Lisäksi sotilaiden riittävään energiansaantiin on kiinnitettävä huomiota. Ennakkoon suunnitelluilla tankkauspäivillä voitaisiin nostaa ja ehkäistä hormonipitoisuuksien muutoksia maastoharjoitusten aikana. Johtajakoulutuksessa on korostettava kokonaiskuormituksen hallintaa yksittäiselle sotilaille.

2. *Sykevälivaihtelumittaus ei välttämättä sovellu kuormituksen aikaiseen autonomisen hermoston vasteiden mittaamiseen ryhmätasolla, erityisesti jos tutkittavat ovat ylirasitustilassa.*

Sykevälivaihtelu on yksilöllistä ja se ei välttämättä sovellu kuormituksen aikaiseen autonomisen hermoston vasteiden mittaamiseen ryhmätasolla. Sykevälivaihtelumittaus tulee toteuttaa niin, että mittausjaksoista muodostetaan viikkokeskiarvoja, joita analysoidaan aikakenttäanalyysin menetelmin. Voi myös olla, että sykevälivaihtelumittaus ei sovellu tällaisenaan ryhmätason mittaukseen, kuten myös Väyrynen (2015) toteaa omassa tutkimuksessaan.

3. Hajautetun pataljoonan puolustustaistelusta aiheuttamasta fysiologisesta kuormituksesta ei välttämättä palauduta 3–5 vuorokauden aikana

Hajautetun pataljoonan puolustustaistelu voi olla niin kuormittavaa, että sen aiheuttamista hormonipitoisuuksien muutoksista ei palauduta 3–5 vuorokauden aikana. Testosteronipitoisuuden nousu ei kuitenkaan ole aina riittävän hyvä markkeri ilmentämään sotilaiden palautumista. Heikko palautuminen harjoituksesta voi edesauttaa ylikuntotilan syntymistä. Kuten aikaisemmin on jo todettu, koulutuksen suunnitteluun tulee kiinnittää entistä enemmän huomiota uudistetussa taistelutavassa. Koulutuksen sisältöön voi olla järkevää suunnitella sekä järjestää ohjattu palauttavajakso esimerkiksi kasarmilla, raskaan maastoharjoituksen jälkeen. On mahdollista, että kaikki varusmiehet eivät lepää viikonloppuvapailta eivätkä nauti energiaa riittävästi, jotta he palautuisivat puolustustaistelun aiheuttamista kehon koostumuksen, hormonitasapainon ja autonomisen hermoston vasteiden muutoksista. Osa varusmiehistä voi olla viikonloppuvapailloissa ja kuormittuvat sen seurauksena vielä entisestään.

10 LÄHTEET

- Aakvaag, A., Sand, T., Opstad, P. & Fonnum, F. 1978. Hormonal changes in serum in young men during prolonged physical strain. *European Journal of Applied Physiology and Occupational physiology* 39 (4), 283–291.
- Acharya, U., Joseph, K., Kannathal, N., Lim, C. & Suri, J. 2006. Heart rate variability: a review. *Medical and biological engineering and computing* 44 (12), 1031–1051.
- Achten, J. & Jeukendrup, A. 2003. Heart rate monitoring. *Sports medicine* 33 (7), 517–538.
- Ackland, T., Lohman, T., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R., Meyer, N., Stewart, A. & Müller, W. 2012. Current Status of Body Composition Assessment in Sport. *Sports Medicine* 42 (3), 227–249.
- Adlercreutz, H., Härkönen, M., Kuoppasalmi, K., Näveri, H., Huhtaniemi, I., Tikkanen, H., Remes, K., Dessypris, A. & Karvonen, J. 1986. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *International Journal of Sports Medicine* 7 (S1), S27–S28.
- Aleman, J., Nindl, B., Kellogg, M., Tharion, W., Young, A. & Montain, S. 2008. Effects of dietary protein content on IGF-I, testosterone, and body composition during 8 days of severe energy deficit and arduous physical activity. *Journal of Applied Physiology* 105 (1), 58–64.
- Alen, M. & Rauramaa, R. 2005. Liikunnan vaikutukset elinjärjestelmittain. Teoksessa Vuori, I., Taimela, S & Kujala, U. (Toim.), *Liikuntalääketiede*. Helsinki Duodecim: Karisto Oy.
- American College of Sport Medicine. 2006. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 7. painos. Lippincott Williams & Wilkins, 70–84.
- Antelmi, I., De Paula, R., Shinzato, A., Peres, C., Mansur, A. & Grupi, C. 2004. Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *The American Journal of Cardiology* 93 (3), 381–385.
- Arciero, P., Gentile, C., Pressman, R., Everett, M., Ormsbee, M., Martin, J., Santamore, J., Gorman, L. Fehling, P. Vukovich, M. & Nindl, B. 2008. Moderate protein intake improves total and regional body composition and insulin sensitivity in overweight adults. *Metabolism* 57 (6), 757–765.
- Aubert, A., Seps, B. & Beckers, F. 2003. Sports Medicine. Heart rate variability in athletes. *Sports medicine* 33 (12), 889–919.

- Baechle, T. & Earle, R. 2008. National Strength & Conditioning Association (US). Essentials of strength training and conditioning. Champaign, IL: Human Kinetics, 395–396.
- Booth, C., Probert, B., Forbes–Ewan, C. & Coad, R. 2006. Australian Army Recruits in Training Display Symptoms of Overtraining. *Military Medicine* 171 (11), 1059–1064.
- Borer, K. 2003. Exercise endocrinology. Human Kinetics.
- Borer, K. 2013. Advanced exercise endocrinology. Human Kinetics.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P. 1983. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 50 (2), 273–282.
- Bose, M., Oliván, B & Laferrère B. 2009. Stress and obesity: role of the hypothalamic-pituitary-adrenal-axis in metabolic disease. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity* 16 (5), 340.
- Bremner, W., Vitiello, M. & Prinz, P. 1983. Loss of circadian rhythmicity in blood testosterone levels with aging in normal men. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 56 (6), 1278–1281.
- Cao, J., Pasiakos, S., Margolis, L., Sauter, E., Whigham, L., McClung, J., Young, A. & Combs, G. 2014. Calcium homeostasis and bone metabolic responses to high-protein diets during energy deficit in healthy young adults: a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition* 99(2), 400-407.
- Chandler, R., Byrne, H., Patterson, J., & Ivy, J. 1994. Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *Journal of Applied Physiology* 76(2), 839–845.
- Chicharro, J., López-Mojares, L., Lucía, A., Pérez, M., Alvarez, J., Labanda, P., Calvo, F. & Vaquero, A. 1998. Overtraining parameters in special military units. *Aviation Space and Environmental Medicine* 69 (6), 562–568.
- Chichinadze, K. & Chichinadze, N. 2008. Stress-induced increase of testosterone: contributions of social status and sympathetic reactivity. *Physiology & behavior* 94 (4), 595–603.
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T. & Rowsell, G. 2007. Monitoring for overreaching in rugby league players. *European Journal of Applied Physiology* 99 (3), 313–324.
- Crewther, B., Cook, C., Cardinale, M., Weatherby, R. & Lowe, T. 2011. Two emerging concepts for elite athletes. *Sports medicine* 41 (2), 103–123.
- De Lorenzo, A., Bertini, I., Candeloro, N. & Piccinelli, R. 1999. A new predictive equation to calculate resting metabolic rate in athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 39 (3), 213.

- Dekker, J., Crow, R., Folsom, A., Hannan, P., Liao, D., Swennw, C. & Schouten, E. 2000. Low heart rate variability in a 2-minute rhythm strip predicts risk of coronary heart disease and mortality from several causes. *Circulation* 2000 102,1239–1244.
- Doucet, E., St-Pierre, S., Alméras, N., Després, J., Bouchard, C. & Tremblay, A. 2001. Evidence for the existence of adaptive thermogenesis during weight loss. *British Journal of Nutrition* 85 (06), 715–723.
- Eliakim, A., Nemet, D., Bar-Sela, S., Higer, Y. & Falk, B. 2002. Changes in circulating IGF-I and their correlation with self-assessment and fitness among elite athletes. *International Journal of Sports Medicine* 23 (08), 600–603.
- Fogelholm, M. 2007. Antropometriset ja kehon koostumusta kuvaavat mittaukset. Teoksessa Keskinen, K., Häkkinen, K. & Kallinen, M. (toim.) *Kuntotestauksen käsikirja*. 2.-uudistettu painos. Helsinki: Liikuntatieteellisen seuran julkaisuja nro 161.
- Fortes, M., Diment, B., Greeves, J., Casey, A., Izard, R. & Walsh, N. 2011. Effects of a daily mixed nutritional supplement on physical performance, body composition, and circulating anabolic hormones during 8 weeks of arduous military training. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism* 36, 967–975.
- Friedl, K., Moore, R., Hoyt, R., Marchitelli, L., Martinez-Lopez, L. & Askew, E. 2000. Endocrine markers of semistarvation in healthy lean men in a multistressor environment. *The Journal of Applied Physiology* 88 (5), 1820–30.
- Fry, A., Kraemer, W., Stone, M., Koziris, L., Thrush, J. & Fleck, S. 2000. Relationships Between Serum Testosterone, Cortisol, and Weightlifting Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 14 (3), 338–343.
- Garthe, I., Raastad, T., Refsnes, P., Koivisto, A. & Sundgot-Borgen, J. 2011. Effect of two different weight-loss rates on body composition and strength and power-related performance in elite athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 21 (2), 97–104.
- Geliebeter, A., Ochner, C., Dambkowski, C. & Hashim, S. 2014. Obesity-Related Hormones and Metabolic Risk Factors: A Randomized Trial of Diet plus Either Strength or Aerobic Training versus Diet Alone in Overweight Participants. *Journal of Diabetes and Obesity* 1 (1), 1–7.
- Gomez-Merino, M., Chennaoui, D., Drogou, C. & Guezennec, C. 2004. Influence of energy deficiency on the insulin-like growth factor I axis in a military training program. *Hormone and Metabolic Research* 36, 506–511.
- Guyton, M. & Hall, J. 2006. *Textbook of Medical Physiology*. Yhdestoista painos. W.B. Saunders Company, USA.

- Hall, K., Heymsfield, S., Kemnitz, J., Klein, S., Schoeller, D. & Speakman, J. 2012. Energy balance and its components: implications for body weight regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition* 95 (4), 989–994.
- Handziski, Z., Maleska, V., Petrovska, S., Nikolik, S., Mickoska, E., Dalip, M., & Kostova, E. 2006. The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratislavské lekárske listy* 107 (6/7), 259.
- Harman, S., Metter, E., Tobin, J., Pearson, J. & Blackman, M. 2001. Longitudinal effects of aging on serum total and free testosterone levels in healthy men. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism* 86 (2), 724–731.
- Hedelin, R., Kentta, G., Wiklund, U., Bjerle, P. & Henriksson-Larsen, K. 2000b. Short-term overtraining: effects on performance, circulatory responses, and heart rate variability. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 32 (8), 1480–1484.
- Hedelin, R., Wiklund, U. & Bjerle, P. 2000a. Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sport and Exercise* 32 (8), 1531–1533.
- Hiilloskorpi, H., Pasanen, M., Fogelholm, M., Laukkanen, R. & Manttari, A. 2003. Use of heart rate to predict energy expenditure from low to high activity levels. *International Journal of Sports Medicine* 24 (05), 332–336.
- Ho, C., Stoddart, M., Walton, M., Anderson, R. & Beckett, G. 2006. Calculated free testosterone in men: comparison of four equations and with free androgen index. *Annals of Clinical Biochemistry* 43(5), 389–397.
- Hodgdon, J., Hesslink, R., Hackney, A., Vickers, R. R. & Hilbert, R. P. 1991. Norwegian military field exercises in the arctic: cognitive and physical performance. *Arctic Med Res* 50 Suppl 6, 132–136.
- Hoyt, R., Buller, M., DeLany, J., Stultz, D., Warren, K., Hamlet, M. Shantz, D., Matthew, W., Tharion, W., Smith, P. & Smith, B. 2001. Warfighter physiological status monitoring (WPSM): energy balance and thermal status during a 10-day cold weather US Marine Corps Infantry Officer Course field exercise. Natick, MA: United States Army Research Institute of Environmental Medicine. Technical Report No. T02–02.
- Hulmi, J., Isola, V., Suonpää, M., Järvinen, N., Kokkonen, M., Wennerström, A., Nyman, K., Perola, M. Ahtiainen, J. & Häkkinen, K. 2017. The effects of intensive weight reduction on body composition and serum hormones in female fitness competitors. *Frontiers in Physiology* 7, 689.

- Hunt, J., Johnson, L. & Roughead, Z. 2009. Dietary protein and calcium interact to influence calcium retention: a controlled feeding study. *The American Journal of Clinical nutrition* 89 (5), 1357–1365.
- Huovinen, H., Hulmi, J., Isolehto, J., Kyröläinen, H., Puurtinen, R., Karila, T., Mackala, K. & Mero, A. 2015. Body Composition and Power Performance Improved After Weight Reduction in Male Athletes Without Hampering Hormonal Balance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 29 (1), 29–36.
- Huovinen, J., Kyröläinen, H., Linnamo, V., Tanskanen, M., Kinnunen, H., Häkkinen, K. & Tulppo, M. 2011. Cardiac autonomic function reveals adaptation to military training. *European Journal of Sport Science* 11 (4), 231–240.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N. & Rusko, H. 2006. Heart Rate Variability during Night Sleep and after Awakening in Overtrained Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 38 (2), 313–317.
- Hynynen, E., Uusitalo, A., Konttinen, N. & Rusko, H. 2008. Cardiac autonomic responses to standing up and cognitive task in overtrained athletes. *International Journal of Sports medicine* 29 (07), 552–558.
- Iellamo, F., Legramante, J., Pigozzi, F., Spataro, A., Norbiato, G., Lucini, D. & Pagani, M. 2002. Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation* 105, 2719–2724.
- Isidori, A., Giannetta, E., Greco, E., Gianfrilli, D., Bonifacio, V., Isidori, A., Lenzi & Fabbri, A. 2005. Effects of testosterone on body composition, bone metabolism and serum lipid profile in middle-aged men: a meta-analysis. *Clinical endocrinology* 63 (3), 280–293.
- Isola, V. 2013 Optimaalinen ravitsemus on osa sotilaan toimintakyvyn kehittämistä. Teoksessa *Jalkaväen Vuosikirja 2013-2014*, Toim. jalkaväen säätiö, KTMP/Ykkös-Offset Oy, Vaasa.
- Jouanin, J., Dussault, C., Pérès, M., Satabin, P. & Piérard, C. 2004. Analysis of heart rate variability after a range training course. *Military Medicine* 169, 583–587.
- JPTSTOS-O -ALJO. 2013. Jääkäripataljoonan taisteluosaston ohje. Maavoimien esikunta. Mikkeli.
- Kalliomaa, R. 2014. Laskuvarjojääkärikomppanian varusmiesten hyppyperuskoulutuskurssin fyysinen kuormittavuus. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Karila, T., Sarkkinen, P., Marttinen, M., Seppälä, T., Mero, A. & Tallroth, K. 2008. Rapid Weight Loss Decreases Serum Testosterone. *International Journal of Sports Medicine* 29 (11), 872–877.

- Keinänen, L. 2011. Jääkärikomppanian taisteluharjoituksen fyysinen kuormittavuus ja kuormituksen vaikutus suorituskykyyn. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Koistinen, H. & Jänne, O. 2009. Endokriininen järjestelmä. Teoksessa Välimäki, M., Sane, T. & Dunkel, L. (Toim.) Endokrinologia. Helsinki. Kustannus Oy Duodecim.
- Kokko, J. 2008. Vertaileva tutkimus taisteluvälikorkeakoulun fyysisestä kuormittavuudesta. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Koskensalo, P. 2015. Taistelumuonien käyttö tiedusteluharjoituksissa. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Koziris, L., Hickson, R., Chatterton, R., Groeth, R., Christie, J., Goldflies, D. & Unterman, T. G. 1999. Serum levels of total and free IGF-I and IGFBP-3 are increased and maintained in long-term training. *Journal of Applied Physiology* 86 (4), 1436–1442.
- Kyröläinen, H. & Santtila, M. 2006. Liikuntatieteiden soveltaminen sotilaan fyysisen suorituskyvyn kehittämisessä. Teoksessa: Huhtinen A-M. & Toiskallio J. (toim.). Maanpuolustuskorkeakoulu -kehittyvä sotatieteellinen yliopisto. Helsinki. Edita Prima Oy.
- Kyröläinen, H. & Santtila, M. 2010. Sotilaiden fyysinen toimintakyky – vaatimukset ja haasteet. Teoksessa: Mäkinen, A. & Tuominen, J. (toim.) Toimintakykyä kehittämässä: Jarmo Toiskallion juhla-kirja. Johtamisen ja sotilaspedagogiikan laitos. Julkaisusarja 1 (6) Helsinki. Edita Prima Oy.
- Kyröläinen, H., Karinkanta, J., Santtila, M., Koski, H. & Mäntysaari, M. 2008. Hormonal responses during a prolonged military field exercise with variable exercise intensity. *European Journal Applied Physiology* 102, 539–546.
- Laitio, T., Scheinin, H., Kuusela, T., Mäenpää, M. & Jalonen, J. 2001. Mitä sydämen sykevaihtelu kertoo? *Finnanes* 34, 249–255.
- Lane, A., Duke, J. & Hackney, A. 2010. Influence of dietary carbohydrate intake on the free testosterone: cortisol ratio responses to short-term intensive exercise training. *European journal of applied physiology* 108 (6), 1125–1131.
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, J., Gueneron, L., Vidal, P. & Hausswirth, C. 2013. Evidence of Parasympathetic Hyperactivity in Functionally Overreached Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise* April 45 (11), 2061–2071.
- Le Roith, D. 1997. Insulin-like growth factors. *New England Journal of Medicine* 336 (9), 633–640.
- Lee, C. & Mendoza A. 2012. Dissociation of heart rate variability and heart rate recovery in well-trained athletes. *European Journal of Applied Physiology* 112 (7), 2757–2766.

- Leibel, R., Rosebaum, M. & Hirsch, J. 1995. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *The New England Journal of Medicine* 332 (10), 621–628.
- Levine, M., Suarez, J., Brandhorst, S., Balasubramanian, P., Cheng, C., Madia, F., Fontana, L., Mirisola, M. Guevara-Aguirre, J., Wan, J., Passarino, G., Kennedy, B., Wei, M., Cohen, P., Crimmins, E. & Longo, V. 2014. Low protein intake is associated with a major reduction in IGF-1, cancer, and overall mortality in the 65 and younger but not older population. *Cell metabolism* 19 (3), 407–417.
- Lindholm, H., Ilmarinen, R., Santtila, M., Oksa, J., Rissanen, S., Hirvonen, A., Mälikä, E., Rusko H., Mäntysaari M. & Kyröläinen H. 2009. Sotilastyön tehtäväkohtainen energiankulutus, eri tehtävien edellyttämä fyysinen minimisuorituskyky ja kuormituksen sekä kuormittumisen arviointi kenttäoloissa. MATINEn loppuraportti hankkeesta 672.
- Loucks, A., Kiens, B. & Wright, H. 2011. Energy availability in athletes. *Journal of sports sciences*, 29 (sup1), S7–S15.
- Mäestu, J., Elliakim, A., Jürimäe, J., Valter, I. & Jürimäe, T. 2010. Anabolic and Catabolic Hormones and Energy Balance of the Male Bodybuilders During the Preparation for the Competition. *Journal of Strength and Conditioning Research* 24 (4), 1074–1081.
- Mäestu, J., Jürimäe, J. & Jürimäe, T. 2005. Hormonal response to maximal rowing before and after heavy increase in training volume in highly trained male rowers. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 45 (1), 121.
- Manzi, V., Castagna, C., Padua, E., Lombardo, M., D'Ottavio, S., Massaro, M., Volterrani, M. & Iellamo, F. 2009. Dose-response relationship of autonomic nervous system responses to individualized training impulse in marathon runners. *American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology* 296 (6), 1733–1740.
- Martinmäki, K. & Rusko, H. 2008. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *European Journal of Physiology* 102, 353–360.
- McArdle, W., Katch, F. & Katch, V. 2011. *Essentials of Exercise Physiology*. Neljäs painos. Lippincott Williams & Wilkins.
- McCorry, L. 2007. Physiology of the autonomic nervous system. *American Journal of Pharmaceutical Education* 71 (4), 78.
- Meeusen, R., Nederhof, E., Buyse, L., Roelands, B., Schutter, G. & Piacentini, M. 2012. Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *British Journal of Sports Medicine* 44 (9), 642–648.

- Mero, A., Huovinen, H., Matintupa, O., Hulmi, J., Puurtinen, R., Hohtari, H. & Karila, T. 2010. Moderate energy restriction with high protein diet results in healthier outcome in women. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 7 (1), 4.
- Mettler, S., Mitchell, N. & Tipton, K. 2010. Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42 (2), 326–337.
- Mikkola, I., Keinänen-Kiukaanniemi, S., Jokelainen, J., Peitso, A., Härkönen, P., Timonen, M. & Ikäheimo, T. 2012. Aerobic performance and body composition changes during military service. *Scandinavian Journal of Primary Health Care* 30 (2), 95–100.
- Montain, S. & Young, A. 2003. Diet and physical performance☆ This review contributes to a Special Section on US Army Research, guest-edited by ML Meiselman, FM Kramer, J. Soyer and P. Pliner. *Appetite* 40 (3), 255-267.
- Moore, C. & Fry, A. 2007. Nonfunctional overreaching during off-season training for skill position players in collegiate American football. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 21 (3), 793–800.
- Morisset, A., Blouin, K. & Tchernof, A. 2008. Impact of diet and adiposity on circulating levels of sex hormone-binding globulin and androgens. *Nutrition reviews* 66(9), 506–516.
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., Meyer, N., Sherman, R., Budgett, R. & Ljungqvist, A. 2014. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad--Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine* 48 (7), 491–497.
- Neovius, M., Hemmingsson, E., Freyschuss, B. & Uddén, J. 2006. Bioelectrical impedance underestimates total and truncal fatness in abdominally obese women. *Obesity*. 14 (10), 1731–1738.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A. & Björkqvist, S-E. 2004. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY, Helsinki.
- Nindl, B., Barnes, B., Alemany, J., Frykman, P., Shippee, R. & Friedl, K. 2007. Physiological consequences of US Army Ranger training. *Medicine and science in sports and exercise* 39 (8), 1380.
- Nindl, B., Castellani, J., Young, A., Patton, J., Khosravi, M., Diamandi, A. & Montain, S. 2003. Differential responses of IGF-I molecular complexes to military operational field training. *Journal of Applied Physiology* 95(3), 1083–1089.

- Nindl, B., Rarick, K., Castellani, J., Tuckow, A., Patton, J., Young, A. & Montain, S. 2006. Altered secretion of growth hormone and luteinizing hormone after 84 h of sustained physical exertion superimposed on caloric and sleep restriction. *Journal of Applied Physiology* 100 (1), 120–128.
- Nisula, K. 2013. Jalkaväen joukkorakenne osana maavoimien taistelua. Teoksessa Jalkaväen Vuosikirja 2013–2014, Toim. jalkaväen säätiö, KTMP/Ykkös-Offset Oy, Vaasa.
- Nummela, A., Hynynen, E., Kaikkonen, P., Rusko, H. 2016. High-intensity endurance training increases nocturnal heart rate variability in sedentary participants. *Biology of sport* 33 (1), 7.
- Opstad, P. 1991. Alterations in the morning plasma levels of hormones and the endocrine responses to bicycle exercise during prolonged strain. The significance of energy and sleep deprivation. *Acta endocrinologica* 125 (1), 14–22.
- Opstad, P. 1994. Circadian rhythm of hormones is extinguished during prolonged physical stress, sleep and energy deficiency in young men. *European journal of endocrinology / European Federation of Endocrine Societies* 131, 56–66.
- Otzenberger, H., Gronfier, C., Simon, C., Charloux, A., Ehrhart, J., Piquard, F. & Brandenberger, G. 1998. Dynamic heart rate variability: a tool for exploring sympathovagal balance continuously during sleep in men. *American Journal of Physiology* 275, H946–H950.
- Pääesikunnan henkilöstöosasto. 2007. Puolustusvoimien liikuntastrategia 2007–2016. Edita Prima Oy, Helsinki, 6–7.
- Pääesikunta. 2017. Varusmiesten kuntotilastot. viitattu 12.2.2017. Saatavilla: http://puolustusvoimat.fi/documents/2035479/2042680/PEVIESTOS_Varusmiesten_kuntotilastot_2016/64f3cb79-59ec-4947-858d-30a64aa08a40
- Pateyjohns, I., Brinkworth, G., Buckley, J., Noakes, M. & Clifton, P. 2006. Comparison of Three Bioelectrical Impedance Methods with DXA in Overweight and Obese Men. *Obesity* (14) 11, 2064–2070.
- Pichot, V., Roche, F., Gaspoz, J-M., Enjolras, Franck., Antoniadis, A., Minini, P., Costes, F., Busso, T., Lacour, J-R. & Barthélémy. 2000. Relation between heart rate variability and training load in middle-distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (10), 1729–1736.
- Pihlainen, K., Santtila, M., Häkkinen, K., Lindholm, H. & Kyröläinen, H. 2014. Cardiorespiratory responses induced by various military field tasks. *Military medicine* 179 (2), 218–224.

- Pimentel, G., Bernhard, A., Frezza, M., Rinaldi, A. & Burini, R. 2010. Bioelectric impedance overestimates the body fat in overweight and underestimates in Brazilian obese women: a comparison with Segal equation 1. *Nutricion hospitalaria* 25 (5) 741–745.
- Pineau, J., Guihard-Costa, A. & Bocquet, M. 2007. Validation of ultrasound techniques applied to body fat measurement. A comparison between ultrasound techniques, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance vs. dual-energy X-ray absorptiometry. *Annals of Nutrition and Metabolism* 51(5), 421–427.
- Plews, D., Laursen, P., Kilding, A. & Buchheit, M. 2012. Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology* 112, 3729–3741.
- Plews, D., Laursen, P., Le Meur, Y., Hausswirthm C., Kilding, A. & Buchheit, M. 2014. Monitoring training with heart rate variability: How much compliance is needed for valid assessment? *International Journal of Sport Physiology and Performance* 9, 783–790.
- Porges, S. & Byrne, E. 1992. Research methods for measurement of heart rate and respiration. *Biological physiology* 34, 93–130.
- Prouteau, S., Benhamou, L., Courteix, D. 2006. Relationships between serum leptin and bone markers during stable weight, weight reduction and weight regain in male and female judoists. *European Journal of Endocrinology* 154 (3), 389–395.
- PVHSMK KOULUTUSALA 067 (HI323). 2012. PEHENKOS ASEVELVOLLISTEN FYYSINEN KOULUTUS. Pääesikunta. 4.10.2012.
- Roemmich, J. & Sinning, W. 1997. Weight loss and wrestling training: effects on nutrition, growth, maturation, body composition, and strength. *Journal of Applied Physiology* 6 (82), 1751–1759.
- Rognum, T., Vartdal, F., Rodahl, K., Opstad, P., Knudsen-Baas, O., Kindt, E. & Withey, W. 1986. Physical and mental performance of soldiers on high- and low-energy diets during prolonged heavy exercise combined with sleep deprivation. *Ergonomics* 29, 859–867.
- Rossow, L., Fukuda, D., Fahs, C., Loenneke, J. & Stout, J. 2013. Natural Bodybuilding Competition Preparation and Recovery: A 12-Month Case Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 8 (5), 582–592.
- Roy, T., Blackman, M., Harman, S., Tobin, J., Schrager, M. & Metter, E. 2002. Interrelationships of serum testosterone and free testosterone index with FFM and strength in aging men. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism* 283 (2), E284–E294.

- Saboul, D., Pialoux, V. & Hautier, C. 2014. The breathing effect of LF/HF ratio in the heart rate variability measurements of athletes. *European Journal of Sport Science* 14 (1), S282–S288.
- Salonen, M. 2008. Partiotiedusteluharjoituksen fyysinen kuormittavuus. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Salonen, M., Kokko, J., Tyyskä, J., Koivu, M. & Kyröläinen, H. 2013 Heart Rate Variability Recordings are a Valid Non-Invasive Tool for Evaluating Soldiers' Stress. *Journal of Defence Studies & Resource Management*.
- Sandercock, G. & Brodie, D. 2006. The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. *Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports*, 302–312.
- Santtila, M. 2010. Effects of added endurance or strength training on cardiovascular and neuromuscular performance of conscripts during the 8-week basic training period. Jyväskylän yliopisto.
- Santtila, M., Häkkinen, K., Nindl, B. & Kyröläinen, H. 2012. Cardiovascular and neuromuscular performance responses induced by 8 weeks of basic training followed by 8 weeks of specialized military training. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 26 (3), 745–751.
- Santtila, M., Keijo, H., Laura, K. & Heikki, K. 2008. Changes in cardiovascular performance during an 8-week military basic training period combined with added endurance or strength training. *Military medicine* 173 (12), 1173–1179.
- Santtila, M., Kyröläinen, H., Vasankari, T., Tiainen, S., Palvalin, K., Häkkinen, A. & Häkkinen, K. 2006. Physical fitness profiles in young Finnish men during the years 1975–2004. *Medicine and science in sports and exercise* 38 (11), 1990.
- Sillanpää, E., Cheng, S., Häkkinen, K., Finni, T., Walker, S., Pesola, A., Ahtiainen, J., Stenroth, L., Selänne, H. & Sipilä, S. 2014. Body composition in 18-to 88-year-old adults—comparison of multifrequency bioimpedance and dual-energy X-ray absorptiometry. *Obesity* 22 (1), 101–109.
- Strauss, M. 2003. Heart rate variability. *Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 285 (5), R927–R931
- Tanskanen, M. 2012. Effects of Military Training on Aerobic Fitness, Serum Hormones, Oxidative Stress and Energy Balance, with Special Reference to Overreaching. University of Jyväskylä. Väitöskirja.

- Tanskanen, M., Kyröläinen, H., Uusitalo, A. L., Huovinen, J., Nissilä, J., Kinnunen, H., Atalay, M. & Häkkinen, K. 2011. Serum Sex Hormone-Binding Globulin and Cortisol Concentrations are Associated With Overreaching During Strenuous Military Training. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (3), 787–797.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. 1996. Heart Rate Variability. Standards of Measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 93, 1043–1065.
- Thayer, J., Yamamoto, S. & Brosschot, J. 2010. The relationship of autonomic imbalance, heart rate variability and cardiovascular disease risk factors. *International Journal of Cardiology* 141 (2), 122–131.
- Toiskallio, J. 1998. Sotilaspedagogiikan perusteet. Ykkös-Offset Oy, Vaasa.
- Trexler, E., Smith-Ryan, A. & Norton, L. 2014. Metabolic adaptation to weight loss: implications for the athlete. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 11 (1), 7.
- TSTOS-O – ALJO. 2015. Taisteluosaston ohje. Maasotakoulu.
- Tulppo, M., Mäkilä, T., Takala, T., Seppänen, T. Huikuri, H. 1996. Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *American journal of physiology-heart and circulatory physiology* 271 (1), H244–H252.
- Tyyskä, J. 2008. Ammattisotilaiden kuormitusfysiologiset vasteet sotilaallisen harjoituksen aikana ja niiden yhteyskuntoindeksiin. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Vaara, J. 2013. Jalkaväkisotilaalta vaaditaan yhä kovempaa kuntoa. *Sotilasaikakauslehti* 1/2013, AO-paino, Mikkeli 2013.
- Väyrynen, T. 2015. Autonomisen hermoston ja hormonien vasteet kahden viikon sotilaskoulutuksessa. Maanpuolustuskorkeakoulu. Pro gradu -tutkielma.
- Viljanen, T., Viitasalo, J. & Kujala, U. 1991. Strength characteristics of a healthy urban adult population. *European journal of applied physiology and occupational physiology* 63 (1), 43–47.
- Volek, J., Sharman, M., Love, D., Avery, N., Scheett, T. & Kraemer, W. 2002. Body composition and hormonal responses to a carbohydrate-restricted diet. *Metabolism* 51 (7), 864–870.
- Willoughby, D., Stout, J., & Wilborn, C. 2007. Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass, and strength. *Amino acids* 32 (4), 467–477.

- Winsley, R. 2002. Acute and chronic effects of exercise on heart rate variability in adults and children: A Review. *Pediatric Exercise Science* 14 (4), 328–344.
- Zimmerman, Y., Eijkemans, M, Bennink, H., Blankenstein, M. & Fauser, B. 2014. The effect of combined oral contraception on testosterone levels in healthy women: a systematic review and meta-analysis. *Human reproduction update* 20 (1), 76–105.